Schlussbericht

zum Vorhaben

Konzeption und Realisierung eines industriell geprägten Verwertungs-betriebs für Elektronik-Altgeräte

Teilvorhaben 2 im Verbundprojekt IREAK

gefördert durch das

**Bundesministerium für
Bildung und Forschung (BMB+F)**

Förderkennzeichen: 01-RK9609/4

Laufzeit: 01.08.1996 - 30.11.1999

Zuwendungsempfänger: Hetzel Elektronik-Recycling GmbH
Maybachstraße 18
90441 Nürnberg
Tel.: (0911) 42477 - 0
Fax: (0911) 418375
e-mail: hetzel-recycling@t-online.de

Nürnberg, 14. April 2000

Inhalt

1 EINLEITUNG 5

1.1 Ausgangssituation 5
1.1.1 Elektronikrecycling in Deutschland 5
1.1.2 Fallbeispiel Hetzel Elektronik-Recycling GmbH 6

1.2 Aufgabenstellung 7

2 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS 10

2.1 Projektstruktur- und Kooperation 10

2.2 Arbeitsablauf 11

2.3 Austausch von Ergebnissen, Dokumentation 14

2.4 Öffentliche Präsentation der Projektziele und -ergebnisse, Veröffentlichungen 15

3 PROJEKTERGEBNISSE 17

3.1 Vorbemerkung 17

3.2 Gestaltung industrieller Verwertungsbetriebe für Elektronik-Altgeräte 17
3.2.1 Ausgangssituation und Rahmenbedingungen 18
3.2.2 Anforderungen an den industriellen Verwertungsbetrieb 21
3.2.3 Anforderungen an industrielle Demontagesysteme 24
3.2.3.1 Zustand und Zusammensetzung des Elektronikschrotts 25
3.2.3.2 Aufbau der Geräte 26
3.2.3.3 Anforderungskataloge 27
3.2.3.4 Zukünftige Produktrecycling-Anforderungen 28
3.2.4 Das GaG-Konzept 28

3.3 Konzeption und Planung von Verwertungsbetrieben 32
3.3.1 Analyse / Beschreibung Ausgangs-Zustand 33
3.3.1.1 Allgemeine Beschreibung des Vorgehensschrittes 33
3.3.1.2 Verwertungsbetriebspezifische Anwendung 33
3.3.2 Systemgrenzen und Zielkriterien ermitteln 34
3.3.2.1 Allgemeine Beschreibung des Vorgehensschrittes 34
3.3.2.2 Verwertungsbetriebspezifische Anwendung 35
3.3.3 Produktionsprogramm / Mengengerüst erfassen 37
3.3.4 Entwicklungsstrategie festlegen 39
3.3.5 Module aus Modulbaukasten auswählen 42
3.3.6 Verwertungsbetrieb-Alternativen bilden 44
3.3.6.1 Der “Alleskönner” (Ausgangs-Zustand) 45
3.3.6.2 Der “Baugruppenrecycler” (Real-Zustand) 45
3.3.6.3 Der “Produktrecycler” (Ideal-Zustand) 46
3.3.7 Alternativenbewertung und Auswahl 47
3.3.7.1 Allgemeine Beschreibung des Vorgehensschrittes 48
3.3.7.2 Verwertungsbetriebspezifische Anwendung 48
3.3.8 Realisierung einer De-/Remontageanlage in der Modellfabrik des IAT 50

3.3.8.1 Eingangsprüfplatz (Arbeitsplatz 1) 51
3.3.8.2 Demontageplatz (Arbeitsplatz 2) 52
3.3.8.3 Remontageplatz 1 (Arbeitsplatz 3) 53
3.3.8.4 Remontageplatz 2 (Arbeitsplatz 4) 54
3.3.8.5 Ausgangsprüfplatz (Arbeitsplatz 5) 54
3.3.8.6 Systemeinführung und Betrieb der Demontage-/Remon-tageanlage 54
3.3.9 Literaturverzeichnis zu Kapitel 3.3 55

3.4 Entscheidungsgrundlagen und Realisierungsbeispiele für den Modulbaukasten 57
3.4.1 Entscheidungsgrundlagen 57
3.4.1.1 Beschreibung der Module 57
3.4.1.2 Kennzahlenermittlung 62
3.4.2 Realisierungsbeispiele 63
3.4.2.1 Modul: Optimierter Einzeltisch 63
3.4.2.2 Modul: Mobiler Arbeitsplatz 65
3.4.2.3 Scherenhubtisch-Modul 66
3.4.2.4 Linien-Modul 67
3.4.2.5 Sortier-Modul 69
3.4.2.6 Multifunktions-Modul 70

3.5 Informationstechnische Unterstützung zur Entwicklung industrieller Abläufe - (DEUS) 73
3.5.1 Einführung 73
3.5.2 Struktur eines Elektronik Recycling Betriebs (ERB) 74
3.5.3 Infoflüsse und -medien heute und morgen 76
3.5.4 DEUS 77
3.5.4.1 Der Einsatz von DEUS 78
3.5.4.2 Basisfunktionen 82
3.5.4.3 Hilfsfunktionen 83
3.5.4.4 Beispiel 84
3.5.4.5 Schnittstellen und andere Systeme 86
3.5.4.6 Kosten / Nutzen 88

3.6 Personal- und Organisationsentwicklung in industriellen Verwertungsunternehmen 89
3.6.1 Der sozialwissenschaftliche Lösungsansatz: Kompetenzentwicklung 90
3.6.2 Entwicklung der Unternehmens- und Führungsstrukturen 92
3.6.2.1 Ausgangssituation nach Organisationsdiagnose und erste Veränderungen 92
3.6.2.2 Gestaltung von Unternehmensstruktur und Führung 93
3.6.3 Die Erarbeitung und Gestaltung von Unternehmensvision und –strategie 94
3.6.3.1 Positionierung von Verwertungsunternehmen im Kreislauf 95
3.6.3.2 Bestimmung und Entwicklung der Geschäftsfelder - Strategieentwicklung 96
3.6.3.3 Systempartnerschaften 97
3.6.3.4 Prozessgestaltung 98
3.6.4 Gestaltung flexibler und optimierter Demontageprozesse 99
3.6.4.1 Erfahrungsgeleitete Optimierung durch Mitarbeiter im Verwertungsunternehmen 99
3.6.5 Analyse des Regulationsverhaltens der Mitarbeiter und der Optimierungsmöglichkeiten in einem veränderten Demontagesystem 102
3.6.6 Instrumentarien für Personal- und Organisationsentwicklung im industriellen Verwertungsunternehmen 109
3.6.7 Merkmale industrieller Verwertungsunternehmen 111
3.6.8 Literatur: 111
3.6.9 Anhang: Interviewleitfaden Personal- und Organisationsentwicklung (Firma Hetzel) 112

3.7 Öko-Controlling im modernen Verwertungsunternehmen 114
3.7.1 Einführung 114
3.7.2 Öko-Controlling für Verwertungsunternehmen 115
3.7.2.1 Sachbilanz eines Zerlegearbeitsplatzes bei Hetzel 119
3.7.2.2 TV-/PC-Zerlegung bei Hetzel 120
3.7.2.3 Energiebedarf von Transportprozessen 122
3.7.2.4 Sachbilanz der Fraktion Aluminium 123
3.7.2.5 Verwertungsmöglichkeiten/Bilanz von Bildröhrenglas 124
3.7.2.6 Sachbilanz der Fraktion Kupfer 126
3.7.2.7 Demontage Radiorecorder rr315 127
3.7.3 Zusammenfassung/Ausblick 130
3.7.4 Literatur 130

4 NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE - VISIONEN FÜR DIE KREISLAUFWIRTSCHAFT 135

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

1.1.1 Elektronikrecycling in Deutschland

Ende der 70er Jahre wurde von der Bundesregierung eine Erweiterung der umweltpolitischen Ziele eingeleitet, die auf eine umweltschonende Abfallpolitik ausgerichtet war. Abfallvermeidung und Abfallaufbereitung, die Wiedergewinnung von Reststoffen und die Verringerung des Verbrauchs von Primärrohstoffen wurden Schwerpunkte einer neuen, umweltschonenden Abfallpolitik. Begleitet wurde dieses Vorgehen durch eine umfassende Novellierung der Abfallgesetzgebung, was schließlich zu dem neuen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) von 1996 führte. Auf der Grundlage des KrW-/AbfG wurden darüber hinaus eine Reihe nachrangiger Verordnungen verabschiedet oder angekündigt. Beispiele sind die Verpackungsverordnung, die Batterieverordnung, die Altautoverordnung und die 1991 angekündigte und erstmals 1992 als Entwurf vorgelegte Elektronikschrottverordnung. Auch wenn eine Elektronikschrottverordnung aufgrund kontroverser Standpunkte der Beteiligten zur Finanzierung bis heute nicht verabschiedet wurde, hat sie schon frühzeitig eine Vielzahl bemerkenswerter Aktivitäten und Entwicklungen sowohl bei der Elektro- und Elektronikindustrie als auch in der Abfall- und Verwertungsindustrie ausgelöst. Aber auch Energieversorgungsunternehmen (EVU), Kunststoffhersteller und viele kleine z.T. neu gegründete Firmen haben sich mit unterschiedlichen Schwerpunkten der Elektronikschrottverwertung zugewandt.

Begünstigt wurde diese Entwicklung durch unterschiedliche Marktstudien, die für Deutschland ein jährliches Elektronikschrottpotential von bis zu 1,9 Millionen Tonnen prognostizierten und europaweit ca. 5 Millionen Tonnen in Aussicht stellten. So entstanden innerhalb relativ kurzer Zeit bundesweit eine Vielzahl kleiner, mittelständischer Firmen und einige wenige von Großunternehmen getragene Unternehmen, die die Demontage und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten als Geschäftszweck betrieben. Verschiedene Erhebungen aus den Jahren 1992 bis 1994 sprechen von 100 bis 200 solchen Betrieben.

Nach der Euphorie Anfang der 90er Jahre haben die Mechanismen des Marktes jedoch sehr schnell zu einer Konsolidierung dieses noch jungen Wirtschaftzweiges geführt. Überkapazitäten bei den zu schnell aufgebauten Verwertungsanlagen, ein deutlich geringeres Elektronikschrottaufkommen als prognostiziert und ein kontinuierlicher Preisverfall für die Rücknahme von Elektronikschrott haben zusammen mit dem Ausbleiben der Elektronikschrottverordnung dazu geführt, dass zahlreiche insbesondere kleine und mittelständische Elektronikschrottverwerter aufgeben mussten und die Branche heute von einem harten Wettbewerb geprägt ist.

Vor diesem Hintergrund kann die ökologisch sinnvolle Demontage von Elektro(nik)geräten, die derzeit in stark handwerklich geprägten Zerlegebetrieben durchgeführt wird, ökonomisch nur schwerlich gegenüber den „Verwertungsalternativen“ Shreddern, Verbrennen und Deponieren bestehen. Aus diesen Zwängen heraus muss die Gerätedemontage zukünftig unter industriellen Gesichtspunkten im Mengenstrom erfolgen. Ein hoher Beitrag zur Wirtschaftlichkeit wird dabei durch die Wieder- und Weiterverwendung möglichst vieler Komponenten (Produktrecycling) geleistet werden, was beim heutigen reinen Materialrecycling zumeist unbeachtet bleibt. Ein wesentliches Ziel im Rahmen des Projekts IREAK ist daher die Entwicklung und Realisierung eines flexiblen Demontage- und Verwertungssystems, das ein Recycling verschiedenster elektrischer und elektronischer Geräte im industriellen Maßstab ermöglicht.

1.1.2 Fallbeispiel Hetzel Elektronik-Recycling GmbH

Die Firma Hetzel wurde 1991 gegründet. Im Mittelpunkt der Tätigkeit stand zunächst die Demontage von auf kommunalen Recyclingbetrieben gesammelten Fernsehgeräten. Mit dieser Tätigkeit betrat man aus Verwertungssicht Neuland. Bisherige Triebfeder für die Zerlegung von Schrotten war die Gewinnung von Metallen, deren Erlös den Zerlegeaufwand mehr als rechtfertigte. Nun war man mit Produkten konfrontiert, die Schadstoffe wie PCB oder Quecksilber enthielten, und musste Lösungen für bisher nicht gekannte Komponenten wie Bildröhren erarbeiten.

In den ersten Jahren stand somit der Aufbau von spezifischem Know-how im Mittelpunkt der Elektronikverwertung. Verwertungsverfahren für verschiedene Fraktionen wurden entwickelt und aufgebaut, die handwerkliche Gerätezerlegung wurde optimiert, die Zerlegekräfte wurden in betriebsinternen und externen Schulungsprojekten intensiv im Umgang mit den Geräten und insbesondere mit den enthaltenen Schadstoffen geschult.

Von Anfang an war es die Philosophie von Hetzel, den Kunden eine möglichst ökologische und hochwertige Geräteverwertung anbieten zu können. Daher gab man sich nicht mit der Verwertung von Metallen zufrieden, auch für Fraktionen wie Bildröhren, und Kunststoffe, aber auch für verschiedene Schadstoffe wurden sinnvolle Verwertungswege aufgebaut. In Ergänzung zum reinen Materialrecycling, der stofflichen Verwertung der Geräte, wurde bei Hetzel 1995 der Bereich Produktrecycling eröffnet. Hier stand die erneute Verwendung von Geräten, Komponenten und Bausteinen im Mittelpunkt, ein Aspekt, der für die Zukunft von Zerlegebetrieben von großer Bedeutung sein dürfte.

Die Elektronikverwertung und damit die Tätigkeit der Zerlegebetriebe erlebte in der ersten Hälfte der 90er Jahre einen starken Aufschwung. Die Firma Hetzel wuchs von Anfänglich einer Handvoll Mitarbeitern zu

einem Betrieb mit über 50 Beschäftigten. Die zu verwertende Gerätepalette erweiterte sich deutlich. Man sah sich konfrontiert mit einer starken Ausweitung der kommunalen Sammlungen und mit zahlreichen, oft sehr speziellen Industrieaufträgen. Die zu bearbeitende Gerätepalette reichte von Unterhaltungselektronik über Haushaltsgeräte und Informationstechnik bis hin zu Labor- und Medizintechnik. Die stark anwachsenden Mengenströme wurden getrieben von einer intensiven Diskussion über das Kreislaufwirtschaftsgesetz und die damit verbundene „Elektronikschrottverordnung“.

Aufgrund dieser Entwicklung und in Erwartung stark steigender Mengenströme wurden auf dem Recyclingmarkt große Recyclingkapazitäten aufgebaut. Neben zahlreichen Zerlegebetrieben entstanden spezialisierte Shredderbetriebe für die Elektronikschrottverwertung. Als allerdings trotz intensiver Diskussion über Jahre hinweg keine Verordnung in Kraft trat, führte die entstandene Überkapazität auf dem Recyclingmarkt zu einem Verfall der für die Verwertung erzielbaren Annahmepreise. Insbesondere die lohnintensive Zerlegetätigkeit geriet dadurch immer stärker unter Druck.

Aufgrund dieser Situation reifte Mitte der 90er Jahre bei Hetzel die Erkenntnis, dass ein handwerklich geprägter Zerlegebetrieb auf Dauer wirtschaftlich kaum bestehen konnte. Andererseits war man nicht bereit, diese ökologisch sinnvolle Art der Geräteverwertung aufzugeben. Daher waren zukunftsweisende Konzepte gefragt, die Effizienz, aber auch die Wertschöpfung der Zerlegebetriebe musste erhöht werden. Der bisherige Zerlegebetrieb musste sich zu einem „industriellen“ Verwertungsbetrieb entwickeln. Die Realisierung dieses umfassenden Ziels erforderte fachkundige Unterstützung, sie wurde daher zu einer wesentlichen Aufgabe des Forschungsprojekts IREAK.

1.2 Aufgabenstellung

Da Politik, Gesellschaft und Wirtschaft sich letztendlich darin einig sind, dass die Kreislaufwirtschaft als umweltschonendes Wirtschaftssystem das Wirtschaftssystem der Zukunft sein muss - auch für die Elektro- und Elektronikindustrie, müssen sich alle am Lebenszyklus dieser Produkte Beteiligten mit der Frage auseinandersetzen, wie die Kreislaufführung dieser Produkte unter industriellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich und ökologisch bestmöglich zu realisieren ist.

Die Praxis beim Einstieg in die Kreislaufwirtschaft bei der Elektro- und Elektronikindustrie in der ersten Hälfte der 90iger Jahre hat in vielfältiger Weise gezeigt, wie schwierig die Umsetzung und wie komplex die Probleme in diesem Prozess sein können. Funktionierende Kreislaufwirtschaft erfordert hier neue Strukturen, die eine Verknüpfung aller am Prozess der Kreislaufführung beteiligten Partner sicherstellen. Schlüsselfunktionen sind hier Sammlung und Logistik von ausgedienten Produkten. Von immenser Bedeutung sind umweltfreundliche und

wirtschaftlich zu betreibende Demontage- und Verwertungstechnologien mit möglichst hoher Wertschöpfung. Elektro- und Elektronikprodukte müssen für eine effiziente Kreislaufführung entwickelt und konstruiert werden. Und nicht zuletzt muss ein durchgängiger Informationsfluss vom Hersteller, über die Händler und Werkstätten, über Rückführlogistik, Entsorger bis hin zu den Demontage- und Verwertungsunternehmen und wieder zurück zum Hersteller aufgebaut werden. Denn nur mit der Systempartnerschaft aller am Produktlebenszyklus Beteiligten wird Kreislaufwirtschaft ökonomisch und ökologisch sinnvoll zu realisieren sein.

Aus der Erkenntnis heraus, dass eine funktionierende nachhaltige Kreislaufwirtschaft für Produkte der Elektrotechnik und Elektronik nur dann zu erreichen sein wird, wenn alle in den Kreislaufprozess eingebundenen Unternehmen auch ökonomische Vorteile, zumindest aber keine Nachteile erwarten dürfen, bestand die übergeordnete Zielsetzung dieses Projektes darin, für wesentliche Partner einer Kreislaufwirtschaft für Elektro- und Elektronikgeräte Grundvoraussetzungen und Kriterien für eine ökonomisch und ökologisch ausgewogene Kreislaufwirtschaft dieser Produktkategorien zu ermitteln, die Konzepte für deren praktische Umsetzung zu entwickeln und, soweit möglich, auch prototypisch zu realisieren. Ziel des Projektes war also, dazu beizutragen, dass die nach dem KrW-/AbfG geforderte Kreislaufwirtschaft für den Wirtschaftszweig Elektro- und Elektronikindustrie industriell umgesetzt wird.

Dabei nehmen in der Lebenszykluskette die Demontage- und Verwertungsunternehmen eine besonders wichtige, aber auch schwierige Position ein, da sich diese Branche erst seit Anfang der 90er Jahre im Aufbau befindet, der Markt hier zunehmend schwieriger geworden ist und die Einbindung dieser Branche in den Produktkreislauf als gleichberechtigter Partner z.B. mit den Herstellerunternehmen nur allmählich und ansatzweise stattfindet.

Gegenseitige Akzeptanz ist aber eine Voraussetzung für den Erfolg von Systempartnerschaften. Diese Akzeptanz wie auch der wirtschaftliche Erfolg werden gerade in der Demontage- und Verwertungsbranche maßgeblich von der Realisierung neuer industrieller Strukturen in diesen Unternehmen abhängen.

Für die Demontage- und Verwertungsunternehmen müssen Strukturen entwickelt und umsetzt werden, die kurz- und mittelfristig eine ökonomisch und ökologisch vertretbare Bearbeitung des Aufkommens an einem breitgefächerten Produktspektrum alter Elektro- und Elektronikgeräte ermöglicht. Um eine hohe Wertschöpfung im Verwertungsprozess zu erzielen, müssen die Möglichkeiten der Wieder- und Weiterverwendung von Altgeräten, Komponenten und Teilen und deren Vermarktung betrachtet werden. Für die stoffliche Verwertung sind die Demontage- und Fraktionierungsprozesse auf moderne Verwertungstechnologien auszurichten und zu optimieren.

So wie aus unserer heutigen Industrielandschaft die Instrumente moderner Kommunikation und Informationsverarbeitung nicht mehr wegzudenken sind, so sind diese Instrumente auch unabdingbar für die industrielle Kreislaufführung in der Elektro- und Elektronikbranche und müssen den spezifischen Anforderungen entsprechend entwickelt werden. Dabei kommt der durchgängigen Kommunikation und Bereitstellung ausgewählter Daten und Informationen für die einzelnen Partner im Systemkreislauf besondere Bedeutung zu.

Ein weiteres wichtiges Thema in diesem Vorhaben ist die Beschäftigung mit den eigentlichen Akteuren der Kreislaufwirtschaft, den Menschen, mit dem Ziel, diese für das neue Umfeld zu ertüchtigen, zu motivieren und Akzeptanz zu erreichen, und zwar in allen Unternehmensebenen.

So lassen sich die Arbeitsschwerpunkte wie folgt zusammenfassen:

- Entwicklung und prototypische Realisierung modular aufgebauter, flexibler Demontagesysteme für Elektronik-Altprodukte, die neue Planungskonzepte der Betriebsorganisation und der innerbetrieblichen Abläufe in modernen mittelständischen Demontage- und Verwertungsunternehmen einschließen.
- Entwicklung und prototypische Realisierung eines Informationssystems zur Unterstützung der innerbetrieblichen Abläufe und Prozesse im industriell geführten Demontage- und Verwertungsbetrieb.
- Arbeits- und sozialwissenschaftliche Gestaltung der Organisations- und Personalentwicklung und die Erarbeitung von Qualifizierungskriterien für Mitarbeiter in Unternehmen in der Kreislaufwirtschaft.
- Entwicklung eines auf Ressourcenmanagement aufbauenden Öko-Controllings für einen industriell geführten Demontage- und Verwertungsbetrieb.
- Entwicklung einer Methodik für die Konstruktion umwelt- und kreislaufgerechter elektrotechnischer Produkte verbunden mit einem intranetbasierten Informationssystem, das leicht in heutige Entwicklungs- und Konstruktionsumgebungen zu integrieren ist.

2 Planung und Ablauf des Vorhabens

2.1 Projektstruktur- und Kooperation

Das Verbundprojekt IREAK setzte sich insgesamt aus 8 Teilvorhaben zusammen. Primäre Aufgabe der Firma Hetzel war die Bearbeitung des Teilvorhabens 2: "Konzeption und Realisierung eines industriell geprägten Verwertungsbetriebs für Elektronik-Altgeräte". Für eine erfolgreiche Bearbeitung der verschiedenen in Kapitel 1.2 angesprochenen Aufgaben dieses Teilvorhabens waren die unterschiedliche Kompetenzen der IREAK-Projektpartner erforderlich. Daher arbeitete Hetzel eng mit folgenden anderen Teilvorhaben zusammen:

- *Thema:* Entwicklungs- und Rationalisierungspotentiale einer Demontagefabrik, Gestaltung industrieller Verwertungsbetriebe

Zusammenarbeit mit:

TV 6: Entwicklung von demontagerelevanten Arbeitssystemen und deren Subsysteme (verantwortlich: G.W. Sohlberg GmbH);

TV 8: Demontageplanung/Demontagesystemplanung und intranetbasierte Informationsunterstützung (verantwortlich: IAT Institut Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement Universität Stuttgart)

- *Thema:* Entwicklung eines Informationssystems für einen industriellen Verwertungsbetrieb

Zusammenarbeit mit:

TV 5: Informationstechnik und Informationsverarbeitung für industriell geprägte Verwertungssysteme (verantwortlich: EAI-DELTA GmbH)

- *Thema:* Organisations- und Personalentwicklung in einem industriellen Verwertungsbetrieb, Mitarbeiterqualifizierung

Zusammenarbeit mit:

TV 7: Neue Formen von Personal- und Organisationsentwicklung (verantwortlich: a&o research GmbH)

Der Lehrstuhl Neuwertwirtschaft der BTU Cottbus war im Unterauftrag von Hetzel tätig, insbesondere zur Bearbeitung folgenden Themas:

- *Thema:* Entwicklung eines auf Ressourcenmanagement aufbauenden Öko-Controllings für einen industriell geführten Demontage- und Verwertungsbetrieb.

Unterstützt durch Beiträge von Hetzel wurde insbesondere folgendes Aufgabengebiet:

- *Thema*: Entwicklung einer Methodik für die Konstruktion umwelt- und kreislaufgerechter elektrotechnischer Produkte verbunden mit einem intranetbasierten Informationssystem

Zusammenarbeit mit:

TV 1: Gestaltung und Validierung von Entwicklungs- und Konstruktionsprozessen für umweltgerechte Kfz-Elektronik

TV 4: Entwicklung neuer Methoden zur umweltgerechten Produktgestaltung in Entwicklung und Konstruktion

TV 8: Demontageplanung/Demontagesystemplanung und intranetbasierte Informationsunterstützung (verantwortlich: IAT Institut Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement Universität Stuttgart)

Insgesamt war die Firma Hetzel Elektronik-Recycling GmbH der Praxispartner im Verbundprojekt IREAK. Unsere Arbeit erstreckte sich daher auch auf alle anderen Teilvorhaben. Ein wesentlicher Beitrag bestand darin, den jeweiligen Partnern den auf das Elektronikrecycling bezogenen fachlichen Input aus Praxissicht zu liefern, darauf aufbauend Konzepte zu entwickeln und Ergebnisse auf ihre Tauglichkeit und Umsetzbarkeit hin zu überprüfen.

2.2 Arbeitsablauf

Im Folgenden wird ein Überblick über die wesentlichen Arbeiten von Hetzel gegeben, geordnet nach Themenbereichen.

A Konzeption und Gestaltung industrieller Verwertungsbetriebe, Entwicklungs- und Rationalisierungspotentiale einer Demontagefabrik

A.1 Demontagesystemgestaltung

- Durchführung und Dokumentation zahlreicher Musterdemontagen
- Erstellen von Statistiken über Anfallhäufigkeiten
- Beschreibung der momentanen Demontagetechnik
- Diskussion und Festlegung von Systemgrenzen
- Erarbeitung und Gewichtung von Zielkriterien
- Durchführung von Massen-Musterdemontagen, Videoaufzeichnung
- Produktauswahl, Eingrenzung des Produktspektrums

- Erarbeitung, Diskussion und Weiterentwicklung einer ersten Demontageanlagenkonzeption
- Test des Bruker-Infrarot-Kunststoff-Identifikationsgeräts
- Test von GWS-Arbeitstischen und GWS-Werkzeugen, Weitergabe von bisherigen Erfahrungen und Verbesserungswünschen, Aufzeigen von Schwachstellen
- Auswahl von Beispielprodukten
- Erarbeitung von umfassenden Anforderungskatalogen an einen industriellen Verwertungsbetrieb anhand von drei ausgewählten Beispielprodukten
- Entwicklung des Konzepts des IREAK-Modulbaukastens für industrielle Verwertungsbetriebe
- Erstellung und Diskussion des Pflichtenhefts für die Demontageanlage
- Umfassender Praxistest (Arbeitsteilung in der Zerlegung und automatische Zu- und Abfuhr von Produkten)
- Beurteilung der praktischen Realisierbarkeit der erarbeiteten Anforderungskataloge und theoretischen Anlagenkonzepte
- Konkretisierung des flexiblen IREAK-Modulbaukastens
- Erstellen der Auswahlkriterien für einzelne Module anhand typischer Produktgruppen
- Prototypische Realisierung eines Großgerätearbeitsplatzes
- Konzeption von Anlagenvarianten durch Auswahl und Kombination von Modulen des IREAK-Modulbaukastens auf der Grundlage von Hetzel-Daten
- Bewertung der gebildeten Varianten

A.2 Produktrecycling: Das GaG-Konzept

- Erarbeitung einer neuen Produktrecycling-Konzeption: Das GaG-Konzept (GaG: Geräte aus Gebrauchtem)
- Konkrete Umsetzung der GaG-Konzeption an 2 Beispielen:

  a) "Touch Me"

  - Erstellung eines Prototypen
  - Ermittlung der Daten zur Wirtschaftlichkeit durch parallele Montage und Demontage von 10 Touch Me´s

- Vergleich mit Daten zur Neuproduktion (GEP-Daten)
- Planung und Realisierung der Demontage von Kartenprüfgeräten und Montage von "Touch mes" in der Modellfabrik des IAT

b) Folienwaschanlage

- Ermittlung und Analyse von Daten zur Demontage von Kopiergeräten als Grundlage für die Folienwaschmaschine
- Erstellung eines Prototypen

B Informationstechnik im industriellen Verwertungsbetrieb

B.1 DEUS

- Auswertung bisheriger Erfahrungen
- Erarbeitung einer Anforderungsliste für DEUS
- Erarbeitung und Weiterentwicklung des DEUS-Pflichtenhefts
- Betrachtung der Möglichkeiten des Softwaretools DEMROP (Teilname an einer Präsentation bei Siemens in München)
- Mitarbeit in der Umsetzungsphase (Praxisanforderungen)

B.2 IBIS

- Erarbeitung und Festlegung der Systemkonzeption
- Informationen zu Musterprodukten, Verwertungsverfahren
- Erarbeitung der Datenbankstruktur
- Mitarbeit beim Aufbau eines Verkaufsplattform für Gebrauchtteile

C Organisations-, Personal- und Ausbildungskonzepte im industriellen Verwertungsbetrieb

- Durchführung von Mitarbeiterinterviews
- Bildung Hetzel-interner Mitarbeiter-Arbeitskreise
- Umfassende Arbeitskreisarbeit unter Moderation von a&o research
- Zusammenstellung bisheriger Ausbildungskonzepte, Erfahrungen
- Erarbeitung von Visionen für eine zukunftsorientierte Aus- und Weiterbildung in der Kreislaufwirtschaft

D. Öko-Controlling

- Ist-Zustands- und Problemanalyse bei Hetzel
- Auswahl und Entwicklung der für Verwertungsbetriebe geeigneten Öko-Controlling-Methode
- Datenaufnahme und Weitergabe an die BTU Cottbus
- Detaillierte Information zu den Stoffströmen bei Hetzel
- Diskussion des "Öko-Controlling-Systems"

E. Umweltgerechte Konstruktionsrichtlinien

- Erarbeitung von Anforderungen an demontagegerechte Produkte aus Recycler-Sicht
- Mitarbeit bei der Konzeptentwicklung
- Diskussion des Arbeitsfortschritts
- Vorstellung der GaG-Konzeption
- Erarbeitung von Kriterien zur Beurteilung der Wieder- und Weiterverwendungsfähigkeit von Neuprodukten
- Erstellung aktueller Preislisten für Fraktionen

2.3 Austausch von Ergebnissen, Dokumentation

Der Austausch von Ergebnissen im Rahmen des Verbundprojekts IREAK erfolgte im wesentlichen durch Vorträge und Diskussionen bei zahlreichen themenbezogener Besprechungen sowie im Rahmen der halbjährlich durchgeführten Gesamtprojekttreffen. Über diese Sitzungen wurden Ergebnisprotokolle erstellt. Darüber hinaus dienten Berichte, Studien, usw. zur Dokumentation von Ergebnissen und zum gegenseitigen Austausch von Informationen.

2.4 Öffentliche Präsentation der Projektziele und -ergebnisse, Veröffentlichungen

- Die Ziele des Teilvorhabens 2 wurden am 29.04.1997 im Rahmen einer öffentlichen Präsentation des Verbundprojekts IREAK in Stuttgart vorgestellt (Vortrag von Herrn Schlögl, Hetzel).
- Im Rahmen des 2. Internationalen Symposiums "Produzieren in der Kreislaufwirtschaft" (ECOFACT ´97) am 01./02.10.1997 in Düsseldorf wurden das Vorhaben von Herrn Schlögl (Hetzel) präsentiert und in einem Artikel im Tagungsband dargestellt.
- Auf dem FOWEP-Seminar (FOWEP: Forschung und Weiterbildung in der Elektronikproduktion) zum Thema "Kreislaufwirtschaft bei elektronischen Geräten" am 06.11.1997 in Erlangen wurde das Vorhaben im Rahmen eines Vortrags von Herrn Schlögl und als Artikel im Tagungsband vorgestellt.
- Auf dem Kolloquium "Wassergüte und Abfallwirtschaft" der TU München am 13.01.1998 präsentierte Herr Schlögl im Rahmen eines Vortrags mit dem Titel "Aktuelle Verfahren zur kreislaufgerechten Verwertung elektronischer Geräte" das Vorhaben.
- Im Rahmen des Seminars des "Aufbaustudiums Umweltschutztechnik" der TU München präsentierte Herr Schlögl am 16.06.1998 und am 18.05.1999 den Studenten Ziele und Ergebnisse des Vorhabens.
- Ergebnisse des Vorhabens wurden von Herrn Menrad (IAT) im Rahmen eines Vortrags auf der Tagung "Second International Working Seminar on Re-use" (01.-03.03.1999 in Eindhoven) präsentiert und im Rahmen des Tagungsbandes als Artikel von Herrn Menrad (IAT), Herrn Dr. Grieger (GEP) und Herrn Schlögl (Hetzel) unter dem Titel "Aspects of Industrial Recycling of Electr(on)ic Appliances" veröffentlicht.
- Auf der FORMAT-Veranstaltung (FORMAT: Bayerischer Forschungsverbund Materialwissenschaften) zum Thema "Altelektronik und Produktverantwortung" am 22. April 1999 stellte Herr Schlögl im Rahmen seines Vortrags "Kosten und Märkte bei der Entsorgung von Elektronikaltgeräten" das Vorhaben vor.
- Ergebnisse des Vorhabens wurden von Herrn Menrad (IAT) und Herrn Schlögl (Hetzel) im Artikel "Der ideale Verwertungsbetrieb" des UmweltMagazins (Ausgabe April 1999) veröffentlicht.
- Auf der Abschlusspräsentation des Verbundprojekts IREAK am 15.09.1999 in Nürnberg wurden die Ergebnisse des Teilvorhabens 2 durch einen Vortrag von Herrn Schlögl, an einem Präsentationsstand und bei der Besichtigen der Firma Hetzel umfassend der Fachöffentlichkeit dargestellt.

- Unter dem Titel "Konzeption und Realisierung von industriellen Verwertungsbetrieben für Elektronikaltgeräte" wurden die Ergebnisse des Vorhabens in der Zeitschrift "Entsorgungspraxis" (Oktober 1999) von Herrn Menrad (IAT) und Herrn Schlögl (Hetzel) veröffentlicht.
- Ergebnisse des Vorhabens wurden von Herrn Schlögl im Rahmen des Vortrags "Der industrielle Verwertungsbetrieb - Ergebnisse des Forschungsprojekts IREAK" auf dem "Kolloquium zur Kreislaufwirtschaft und Demontage" des Sonderforschungsbereichs 281 an der TU Berlin am 20./21.01.2000 präsentiert.
- Im Rahmen seiner Vorlesung zum Thema Elektronikrecycling stellte Herr Schlögl (Hetzel) als Lehrbeauftragter der FH Jena den Studenten der Fachrichtung Umwelttechnik die Ergebnisse des Vorhabens im Wintersemester 1999/2000 vor.

3 Projektergebnisse

3.1 Vorbemerkung

In Kapitel 3 werden die Ergebnisse des Projekts IREAK in Bezug auf den industriellen Verwertungsbetrieb dargestellt. Kapitel 3.2 steckt dabei den allgemeinen Rahmen für die Gestaltung industrieller Verwertungsbetriebe und damit für alle anschließend dargestellten Einzelergebnisse ab. Insbesondere wird dabei aufgezeigt, dass die Realisierung eines industriellen Verwertungsbetriebs eine komplexe, interdisziplinäre Aufgabe ist. Außerdem wird auf die Anforderungen an einen zukunftsfähigen Verwertungsbetrieb - basierend auf der aktuellen Situation und den Rahmenbedingungen im Elektronikrecycling - eingegangen.

In den nachfolgenden Abschnitten werden dann die Einzelergebnisse geordnet nach Themenbereichen dargestellt. Kapitel 3.3 beschreibt die Entwicklung von Technik und Ablauforganisation für einen industriellen Verwertungsbetrieb, Kapitel 3.4 erläutert die Entscheidungsgrundlagen für den "IREAK-Modulbaukasten" und gibt Realisierungsbeispiele. Kapitel 3.5 gibt einen Einblick in die IREAK-Ergebnisse in Bezug auf die Informationstechnik in einem industriellen Verwertungsbetrieb. Kapitel 3.6 beschreibt die für einen derartigen Betrieb erforderliche Personal- und Organisationsentwicklung. Kapitel 3.7 schließlich informiert über die Ergebnisse in Bezug auf ein Öko-Controlling für Verwertungsunternehmen.

Die in den folgenden Kapiteln dargestellten Ergebnisse beziehen sich alle auf den "industriellen Verwertungsbetrieb" und damit auf das Teilvorhaben 2. Sie wurden allerdings jeweils in enger und intensiver Zusammenarbeit mit den anderen IREAK-Teilvorhaben erarbeitet. Daher wird zu Beginn jedes Kapitels auf die anderen beteiligten Teilvorhaben und Projektpartner hingewiesen.

Nicht eingegangen wird in der vorliegenden Ergebnisdarstellung auf Arbeiten von Hetzel, die keinen direkten Bezug zum Thema "industrieller Verwertungsbetrieb" haben, beispielsweise die Mitarbeit bei der Erarbeitung des Softwaretools IBIS und bei der Entwicklung umweltgerechter Konstruktionsrichtlinien. Diese Ergebnisse - und somit auch die Zuarbeiten von Hetzel - werden in den Abschlussberichten der jeweiligen Teilvorhaben dargestellt.

3.2 Gestaltung industrieller Verwertungsbetriebe für Elektronik-Altgeräte

Die Gerätedemontage ist unabdingbare Voraussetzung und Basis für alle nachfolgenden Schritte bei der Verwertung von Elektronikaltgeräten. Bereits zu Zeiten, als das Wort „Elektronikrecycling“ noch ein Fremdwort war, wurden Geräte zerlegt, um die darin enthaltenen Me-

talle zurückzugewinnen. Hieraus entwickelten sich verschiedene Spielarten der Demontage, von der Minimaldemontage zur Schadstoffentfrachtung bis hin zur aufwendigen Komplettdemontage der Geräte, von der Zerlegung mit dem Vorschlaghammer bis zur sorgfältigen Feindemontage zur Gewinnung wiederverwendbarer Komponenten und Bausteine.

Im Projekt IREAK wurde von Beginn an der Demontage und insbesondere dem damit verbundenen Verwertungsbetrieb eine entscheidende Rolle zugemessen. Wesentliches Ziel sollte sein, die durch die „Konkurrenzverfahren“ Shreddern, Verbrennen und Deponieren unter wirtschaftlichen Druck geratene Gerätedemontage durch neue Konzepte zukunftsfähig zu machen. Im Mittelpunkt steht dabei die Gestaltung „industrieller“ Verwertungsbetriebe für Elektronikaltgeräte. Die sich aus diesem Anspruch ergebenden Anforderungen, Konzepte und Lösungen werden in den folgenden Abschnitten betrachtet.

3.2.1 Ausgangssituation und Rahmenbedingungen

In Kapitel 1.1 wurde bereits auf Entwicklung und Situation des Elektronikrecyclings in Deutschland eingegangen. Im folgenden soll daher konkret auf die aktuelle Anfallsituation im Bereich der Elektro- und Elektronikaltgeräte und auf die Struktur der zumeist mittelständischen Demontagebetriebe eingegangen werden. Dies ist insofern von Bedeutung, da sich hieraus die nachfolgend beschriebenen Anforderungen an den zukünftigen, industriellen Verwertungsbetrieb ergeben. Die Betrachtung wird zeigen, dass eine umfassende Planung und Gestaltung eines industriellen Verwertungsbetriebs ohne Änderung der Rahmenbedingungen zu keinen einschneidenden Änderungen führen kann. Die in IREAK zu entwickelnde, “industrielle” Ausgestaltung der Demontage muss daher für die praktische Realisierung immer auch das Umfeld mit betrachten.

Betrachten wir die Zusammensetzung des derzeit anfallenden Elektronikschrotts. Der größte Teil des in den Recyclingbetrieben abgegebenen Elektronikschrotts kommt aus zwei Bereichen: den kommunalen Sammlungen, z. B. an Recyclinghöfen, und den Industrieanlieferungen. Bei den kommunalen Sammlungen werden die Altgeräte der privaten Haushalte erfasst. In der Regel erfolgt dabei eine grobe Vorsortierung der Geräte in verschiedene Produktgruppen (Bildröhrengeräte, Weiße Ware, Haushaltskleingeräte, Unterhaltungselektronik, Bürokommunikation, usw.). Beim Elektronikschrott aus Industriebetrieben handelt es sich häufig um bunt gemischte Gitterboxen und Container, die neben verschiedensten Geräten auch teilzerlegte Geräte, Geräteteile oder Fraktionen wie Leiterplatten oder Batterien enthalten.

Sammlung und Transport des Elektronikschrotts werden in der Regel nicht allzu sorgfältig vorgenommen. Häufig werden Geräte einfach in

den Sammelbehälter geworfen, sie sind "Wind und Wetter" ausgesetzt. Dadurch scheiden derartige Geräte von vorne herein für das Produktrecycling, d.h. für eine erneute Verwendung, aus, sie können – auch in einem industriellen Verwertungsbetrieb - nur dem Materialrecycling, der stofflichen Verwertung, zugeführt werden.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Planung industrieller Verwertungsbetriebe ist die Gerätezusammensetzung. Aus Sicht der industriellen Gestaltung wünschenswert wären planbare Mengenströme möglichst gleichartiger Geräte. Derzeit sieht sich der Recyclingbetrieb im Normalfall – wie oben beschrieben - mit einem unsortierten, teilweise chaotische Geräteaufkommen konfrontiert, größere Stückzahlen identischer Geräte sind die Ausnahme. Selbst gleiche Gerätetypen können sich am Ende Ihrer Lebenszeit deutlich voneinander unterscheiden. Beispielsweise wurden sie in der Nutzungsphase repariert oder umgebaut, oder ein "Hobbyelektroniker" führte vor der Entsorgung eine Teildemontage durch, oder die Geräte sind stark verschmutzt oder zerstört. Der Flexibilität eines industriellen Verwertungsbetriebs in Bezug auf Menge und Zusammensetzung des Elektronikschrotts kommt daher allein aufgrund des schwer vorhersagbaren Aufkommens eine entscheidende Rolle.

Ein weiterer kritischer Aspekt bei der konkreten Ausgestaltung industrieller Zerlegebetriebe ist die Gerätekonstruktion. Die heute zurückkommenden Geräte wurden in der Regel noch nicht demontagegerecht gestaltet. Eine zerstörungsfreie Demontage - Grundvoraussetzung für jede Art des Produktrecyclings - ist in diesem Fall zumeist nicht möglich. Die Zerlegung muss vielmehr häufig mit dem Hammer erfolgen.

Aufgrund der hier beschriebenen, aktuellen Situation hat sich die heutige Struktur der Demontagebetriebe entwickelt. Im Mittelpunkt der Betriebe steht der einzelne Zerlegeplatz, an dem die Arbeitskraft die anfallenden Chargen sortiert und demontiert (siehe Bild 3.2-1). Eine aufwendige und teure Verkettung mehrerer Arbeitsplätze sowie eine automatische Zufuhr der Geräte und Abfuhr der Fraktionen über Transportsysteme ist nicht vorhanden. Vielmehr erfolgt der Geräteantransport in der Regel mit Stapler oder Hubwagen, für die Sammlung und Weiterleitung der Fraktionen werden einfache Behältersysteme eingesetzt. Standardwerkzeuge sind Hammer und Schrauber.

Die Schulung der Arbeitskräfte erfolgt in der Regel betriebsintern. Auf individuelle Herstellerinformationen zu bestimmten Produkten (Demontagebaum, stoffliche Zusammensetzung, Hinweise auf Schadstoffe, usw.) wird und kann aufgrund der anfallenden Altprodukte heutzutage nicht zurückgegriffen werden. Im Mittelpunkt der Unterweisungen stehen daher Erkennung und Umgang mit Schadstoffen sowie die Zerlegetiefe und Fraktionssortierung.

Bild 3.2-1: Typischen Demontagearbeitsplatz in einem heutigen Zerlegebetrieb

Das Produktrecycling spielt in heutigen Recyclingbetrieben nur eine untergeordnete Rolle. Tatsächlich in die Praxis umgesetzt werden bisher nur bestimmte Nischenbereiche. Eine systematische erneute Verwendung von Geräten oder Geräteteilen scheitert in der Regel bereits am Zustand der anfallenden Altprodukte nach Sammlung und Transport (siehe oben) und am fehlenden Mengenstrom gleichartiger Geräte. Hinzu kommt eine fehlenden Akzeptanz für gebrauchte Komponenten in Neugeräten bei den Geräteherstellern bzw. deren Kunden. Außerdem wurde - wie bereits erwähnt - der zerstörungsfreie Ausbau von Komponenten in den heute anfallenden Altgeräten zumeist nicht vorgesehen und ist daher auch in der Regel nicht möglich.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die im Rahmen von IREAK vorgesehene, umfassende Planung und Gestaltung industrieller Verwertungsbetriebe nur dann zu neuartigen, wirtschaftlich konkurrenzfähigen Betriebsvarianten führen kann, wenn Veränderungen der Rahmenbedingungen stattfinden. Dies gilt zum einen für die Art und Weise der Geräteerfassung, zum anderen aber auch für die Gerätekonstruktion und die Einbringungsmöglichkeiten gebrauchter Teile in Neuprodukte. Für die Wirtschaftlichkeit eines industriellen Verwertungsbetriebs ist insbesondere die Betonung des Produktrecyclings von entscheidender Bedeutung. Andernfalls kann die Planungs- und Gestaltungsarbeit nur zu Verbesserungen im Detail führen. Eine Änderung am Prinzip der Einzelarbeitsplätze und damit der Weg hin

zu einem technisch und organisatorisch “industriell” geprägtem Betrieb wird allerdings nicht stattfinden.

Eine Änderung der Rahmenbedingungen erscheint jedoch aktuell durchaus denkbar. Derzeit werden sowohl in Deutschland als auch auf europäischer Ebene Elektronikschrottverordnungen diskutiert. Beide Entwürfe sehen eine Rücknahmepflicht der Hersteller vor. Dies könnte zu einem besser sortierten Geräteanfall und zu größeren und besser kalkulierbaren Mengeströmen führen. Außerdem zwingen uns Kostendruck und immer knapper werdende Ressourcen zumindest langfristig auf den Weg hin zu mehr Produktrecycling.

3.2.2 Anforderungen an den industriellen Verwertungsbetrieb

Die bei Hetzel entwickelte und von Anfang an gelebte Recyclingphilosophie (siehe Kapitel 1.1.2) sollte als Grundlage und Leitlinie auch für den industriellen Verwertungsbetrieb gelten. Wesentlich ist eine qualifizierte Verwertungsstrategie: Materialien müssen möglichst hochwertig zurückgewonnen und im Wirtschaftskreislauf erhalten bleiben, Schadstoffe müssen fachkundig und umweltverträglich separiert und verwertet bzw. entsorgt werden. Durch die Tätigkeit des Verwertungsbetriebs müssen vorhandene Werte erhalten werden, gegebenenfalls sollen neue Werte entstehen. Von großer Bedeutung für die Zukunft von Demontagebetrieben ist in diesem Zusammenhang der Ausbau und die Fortentwicklung des Produktrecyclings.

Auf Basis dieser Grundsätze und der praktischen Erfahrungen wurden in IREAK folgende grundlegenden Zielstellungen für den industriellen Verwertungsbetrieb definiert:

- Elektronikrecycling muss zukünftig im industriellen Maßstab erfolgen. Nur dadurch lassen sich die anstehenden Mengen wirtschaftlich bewältigen.
- Die ökologisch sinnvollen Gerätedemontage soll im Mittelpunkt des industriellen Verwertungsbetriebs stehen.
- Die Verwertung durch Demontage soll wirtschaftlich konkurrenzfähig gegenüber Shredder, Verbrennung und Deponie sein.

Hieraus ergaben sich folgende Lösungsgrundsätze:

- Die Gerätedemontage muss zukünftig unter industriellen Gesichtspunkten im Massenstrom erfolgen.
- Der industrielle Demontagebetrieb muss bereits in der Konzeptphase flexibel entsprechend den jeweiligen Rahmenbedingungen ausgestaltet werden.
- Die auf dieser Grundlage entwickelten und realisierten Betriebe müssen möglichst flexibel sein bzgl. der zu bearbeitenden Pro-

duktarten, der angewandten Verwertungsverfahren und Mengenströme.

- Einen wichtigen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit muss dabei durch die Wieder- und Weiterverwendung möglichst vieler Komponenten geleistet werden. Der Verkaufserlös für Produkte liegt um Größenordnungen über den Erlösen aus dem Materialverkauf. In vielen Fällen - z.B. bei Schadstoffen - fallen hier sogar erhebliche Kosten an.

Die Realisierung der genannten Ziele und damit die Gestaltung von industriellen Verwertungsbetrieben war eine komplexe, interdisziplinäre Aufgabe. In Bild 3.2-2 sind die verschiedenen Aufgabengebiete zusammengestellt.

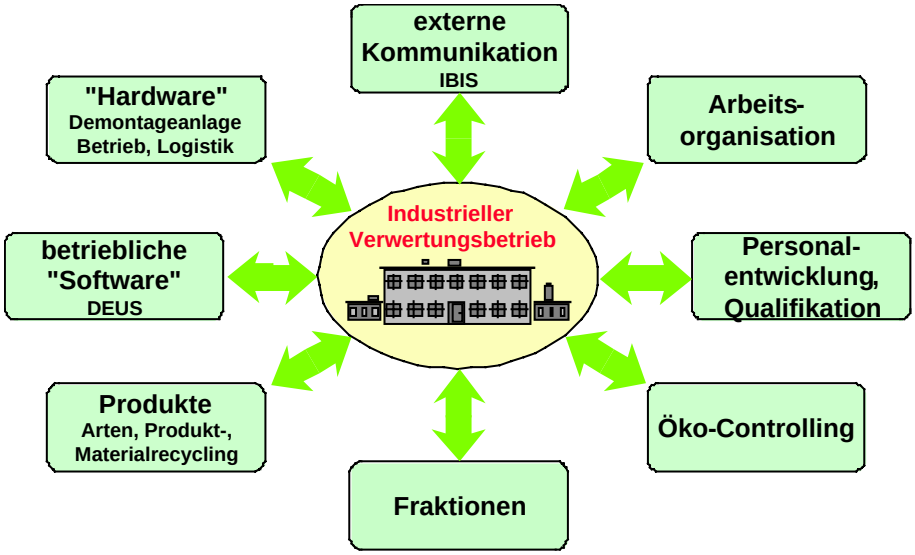


Bild 3.2-2: Aufgaben im Rahmen des industriellen Verwertungsbetriebes

Grundlage für jeden Betrieb ist die „Hardware“, d.h. eine Demontageanlage als Kern sowie die weitere betriebliche Infrastruktur. Bei der Lösung dieser Aufgabe müssen vielfältige Anforderungen berücksichtigt werden, die im nachfolgenden Kapitel 3.2.3 zusammengestellt sind. Die IREAK-Ergebnisse zu diesem Bereich entstanden in einer umfassenden Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern IAT (Universität Stuttgart), G. W. Sohlberg und Hetzel. Sie sind ausführlich in den Kapiteln 3.3 und 3.4 dargestellt.

Ein weiteres, wesentliches Element eines industriellen Verwertungsbetriebs ist die betriebliche Software. Ohne moderne informationstechnische Vernetzung ist kein industrieller Betrieb vorstellbar. Zahlreiche Daten müssen systematisch erfasst, ausgewertet und weitergeleitet werden. Die Informationskette reicht von Kundendaten über Waren-

eingänge, Zerlegeaufträge und Zerlegeprotokolle bis hin zu Materialausgängen und Rechnungsstellung. Darüber hinaus müssen vielfältige Statistiken erstellt werden, beispielsweise zur Erfassung der Stoffströme und zur Kalkulation der Verwertungskosten. Die hierfür erforderliche betrieblich Software muss selbstverständlich modernen Standards entsprechen. Über ein betriebsinternes Netzwerk müssen alle relevanten Informationen an den jeweiligen Arbeitsplätzen zur Verfügung stehen.

Ein derartiges Software-Tool für den Verwertungsbetrieb wurde in IREAK unter dem Namen DEUS - **D**emontage-**E**ntscheidungs-**U**nterstützungs-**S**ystem – entwickelt. Als Grundlage wurde von den Projektpartnern EAI-Delta und Hetzel ein umfassendes Pflichtenheft basierend auf den betrieblichen Anforderungen bei Hetzel erarbeitet. Das Ergebnis der Software-Arbeit ist in Kapitel 3.5 beschrieben.

Neben der betrieblichen Software, der auch in derzeitigen Betrieben bereits eine entscheidende Rolle zukommt, wird in Zukunft die externe Kommunikation der Verwerter insbesondere mit den Herstellern an Bedeutung gewinnen. Hierfür ist eine Plattform nötig, die für umfassenden, aber auch vertraulichen Informationsaustausch sorgen kann. Dadurch soll es gelingen, Produktinformationen der Hersteller vertraglich gebundenen Verwertungsbetrieben zur Verfügung zu stellen – eine wichtige Grundlage für ein umfassendes Produktrecycling im Rahmen von „Systempartnerschaften“ zwischen Herstellern und Verwertern. Analog können aktuelle Informationen der Verwerter für Produkthersteller, beispielsweise Zerlegestatistiken, Hinweise zur Recyclingfreundlichkeit von Produkten und Anfallmengen, direkt an Hersteller weitergeleitet werden. Wünschenswert ist darüber hinaus ein allgemein zugängliches Forum zur Vermarktung von gebrauchten Komponenten.

Für diese Anforderungen wurde in IREAK unter Federführung des IAT der Universität Stuttgart die Softwareplattform IBIS entwickelt - **i**ntranet**b**asiertes **I**nformations**s**ystem. Auf eine Darstellung dieser Ergebnisse im Rahmen des vorliegenden Schlussberichts wird verzichtet. Sie sind umfassend dokumentiert im Schlussbericht des Teilvorhabens 8. Die praktischen Anforderungen wurden von den Firmen Temic als Hersteller und Hetzel als Verwerter eingebracht.

Weitere Aufgabenstellungen im Rahmen des industriellen Verwertungsbetriebs waren Arbeitsorganisation sowie Personalentwicklung und -qualifikation. Diesem Aspekt kam besondere Bedeutung zu, da sich auf der einen Seite der Mitarbeiterstamm in Zerlegebetrieben zumeist aus ungelernten Kräften zusammensetzte, auf der anderen Seite aber eine „industrielle“ Betriebsorganisation neue Qualifikationsanforderungen mit sich brachte. Die IREAK-Erkenntnisse und Ergebnisse zu diesem Bereich basieren auf zahlreichen Untersuchungen, Mitarbeiterbefragungen und Workshops bei Hetzel durch den Projektpartner a&o research. Beispielsweise wurden im Rahmen eines umfangreichen Versuchs zur automatischen Ver- und Entsorgung von

Zerlegearbeitsplätzen eine detaillierte Befragung der beteiligten Arbeitskräfte durchgeführt. Dabei wurden zum Teil überraschende Erkenntnisse über deren Verhalten unter geänderten Arbeitsbedingungen registriert. Diese sowie alle weiteren Ergebnisse zur Personal- und Organisationsentwicklung im industriellen Verwertungsbetrieb werden in Kapitel 3.6 beschrieben.

Von großer Bedeutung für jeden Verwertungsbetrieb sind die entstehenden Fraktionen, insbesondere ihr weiterer Aufbereitungsweg. Bei Hetzel wurden hier im Laufe der Jahre für alle anfallenden Materialien geeignete Verwertungsschienen aufgebaut. Oft boten sich dabei allerdings verschiedene Lösungsmöglichkeiten an. Um die von einem Verwertungsbetrieb in diesem Zusammenhang zu treffenden Entscheidungen auf eine fundierte Grundlage stellen zu können, fehlte ein umfassendes Instrument zur vergleichenden Bewertung verschiedener Alternativen, das sowohl ökonomische als auch ökologische Faktoren berücksichtigte.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen von IREAK als Unterauftrag von Hetzel von der BTU Cottbus, LS Neuwertwirtschaft, als Grundlage für ein betriebliches Öko-Controlling umfangreiche Betrachtungen angestellt, die in Kapitel 3.7 dargestellt sind. Die Untersuchungen gehen dabei über die reinen Stoffströme hinaus, es wurden auch Daten zu verschiedenen Transportmitteln und zur Demontagetätigkeit selbst ermittelt.

Eine große Rolle sollte in zukünftigen industriellen Verwertungsbetrieben dem Produktrecycling zukommen. Allerdings stellte sich während der Projektlaufzeit heraus, dass es noch zahlreiche Hindernisse gab, die einem direkten Wiedereinsatz gebrauchter Komponenten in Neuprodukten entgegenstanden. Daher wurde von Hetzel unter dem Aspekt der „Produkte“ in Bild 3.2-2 ein neuartiges Konzept zur Weiterverwendung eingebracht, das sog. GaG-Konzept. GaG steht für „**G**eräte **a**us **G**ebrauchtem“. Dadurch sollte Verwertungsbetrieben ein von Herstellern unabhängiges Produktrecycling ermöglicht werden. Außerdem sollte dieses Konzept dazu beitragen, die Möglichkeiten des Produktrecyclings aufzuzeigen und auf diese Weise weitere Entwicklungen auf diesem Sektor anzustoßen. Das GaG-Konzept sowie zwei Realisierungsbeispiele werden in Kapitel 3.2.4 beschrieben.

3.2.3 Anforderungen an industrielle Demontagesysteme

Das Demontagesystem bildet das Herz eines industriellen Verwertungsbetriebs. Daher muss mit großer Sorgfalt an Auswahl und Konzeption einer geeigneten Anlage herangegangen werden. Anforderungen ergeben sich dabei sowohl aus dem allgemeinen Umfeld eines Verwertungsbetriebs wie auch aus den anfallenden Produkten.

Eine wesentliche Anforderung aus dem allgemeinen Umfeld ist die weitestgehende Flexibilität eines Verwertungsbetriebs, insbesondere

in Bezug auf das zu bearbeitende Produktspektrum und die anfallenden Mengenströme. Die derzeitig Situation erlaubt keine langfristigen Prognosen über Anfallmengen und Zusammensetzung des Elektronikschrotts. Darüber hinaus werden die Innovationszyklen auf Seiten der Hersteller bei der Entwicklung neuer Produkte immer kürzer. Hieraus können sich neue oder geänderte Anforderungen an die Verwertung ergeben. Auf derartige Herausforderungen muss ein zukunftsfähiger, industrieller Recyclingbetrieb flexibel reagieren können.

Weitere Anforderungen ergeben sich zum einen aus Zustand und Zusammensetzung des Elektronikschrotts, aus dem Aufbau der Geräte sowie aus zukünftigen Entwicklungen, beispielsweise im Rahmen von Systempartnerschaften zwischen Herstellern und Verwertern und dem damit verbundenen, verstärkten Produktrecycling.

3.2.3.1 Zustand und Zusammensetzung des Elektronikschrotts

Der industrielle Verwertungsbetrieb muss auf jeden Fall wirtschaftliche Lösungen zur Bearbeitung des aktuellen Elektronikschrottaufkommens anbieten können. Auf den derzeitigen Zustand der anfallenden Altgeräte, auf die hauptsächlichen Anfallstellen und auf die zum Teil chaotische Zusammensetzung der Anlieferungen wurde bereits in Kapitel 3.2.1 eingegangen. Um in IREAK eine systematische Vorgehensweise zu ermöglichen, wurde bereits zur Erarbeitung der Anforderungen an die Konzeption industrieller Verwertungsbetriebe eine Gruppierung der derzeitig anfallenden Elektronikaltgeräte vorgenommen. Die Einteilung erfolgt zum einen nach der Größe der Geräte, zum anderen nach der Zusammensetzung typischer Geräteanlieferungen.

Unter der Produktgruppe **Gitterboxen-Mix** werden alle ungeordneten Mischchargen-Anlieferungen zusammengefasst. Dabei handelt es sich um Behälter, die ungeordnet nebeneinander verschiedenste Komplettgeräte, teilzerlegte Geräte und auch einzelne Fraktionen wie Leiterplatten, Batterien oder Kunststoffteile enthalten können. Derartige Anlieferungen fallen in heutigen Recyclingbetrieben am häufigsten an. Sie werden in der Regel an Einzeldemontageplätzen zerlegt und fraktioniert.

Bei der Sammlung von Haushaltskleingeräten oder Unterhaltungselektronik ergeben sich häufig Chargen, die sich aus verschiedenen Kleingeräten zusammensetzen (z.B. Kaffeemaschinen, Toaster, Bügeleisen, Fön, usw.). Derartige Anlieferungen werden unter der Bezeichnung **Kleingeräte-Mix** zusammengefasst. Für eine effektive Demontage müssen diese Geräte vorsortiert werden. Hieraus ergeben sich Gestaltungsmöglichkeiten im Rahmen der Planung industriellen Verwertungsbetriebe.

In der Klasse der **Mittelgeräte** spielen Monitore und Fernsehgeräte im derzeitigen Mengengerüst von Demontagebetrieben eine große Rolle. Auf der einen Seite sind diese Produkte relativ komplex aufgebaut, bei

der Demontage ergibt sich eine Vielzahl verschiedener Fraktionen. Auf der anderen Seite sind prinzipieller Aufbau und Abmessungen der Geräte innerhalb der Produktgruppen vergleichbar. Dies sind interessante Voraussetzungen für die Konzeption zukunftsweisender Demontageanlagen.

Unter die Produktgruppe **Großgeräte** fallen beispielsweise viele medizintechnische Geräte, Laborgeräte, Schaltschränke und vieles mehr. Bei dieser Gerätegruppe ergeben sich spezielle Anforderungen an die Demontage, die bei einer Betriebsplanung Berücksichtigung finden müssen.

3.2.3.2 Aufbau der Geräte

Ein Recyclingbetrieb wird mit einem breiten Produktspektrums elektrischer und elektronischer Geräte konfrontiert. Die Bandbreite reicht vom Kleinprodukten wie Kartenlesegeräten oder elektronischen Steuergeräten für Kraftfahrzeuge bis zu Großgeräten wie Kopierern, Schaltschränken oder Computertomographen. Bei Aufbau und materieller Zusammensetzung zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Gerätearten.

Zur konkreten Ermittlung der sich hieraus ergebenden Anforderungen wurden in IREAK 50 repräsentative Beispielprodukte aus verschiedensten Elektronikbereichen ausgewählt und umfassend in Bezug auf Demontagereihenfolge, Demontagezeiten, Werkzeugeinsatz, sich ergebende Fraktionen und Produktrecycling-Potential untersucht.

Um die gewonnenen Daten vergleichbar darstellen zu können, wurde die jeweilige Demontage in einem sogenannten Demontagevorranggraphen dokumentiert. Der Demontagevorranggraph wurde als Hilfsmittel zur Identifizierung recycelbarer Materialien, wiederverwendbarer Baugruppen und Einzelteile eines Geräts sowie der benötigten Demontageoperationen nebst der zugehörigen Demontagezeiten eingesetzt. Bild 3.2-3 stellt beispielhaft den Demontagevorranggraphen eines elektronischen Steuergeräts dar.

Ergänzend zu diesen detaillierten Einzeluntersuchungen wurden zur Gewinnung zusätzlicher Realdaten Massen-Musterdemontagen im Zerlegebetrieb von Hetzel durchgeführt. Hierzu wurden für zahlreiche Beispielprodukte mehrere Geräte eines Typs von einem erfahrenen Recyclingarbeiter in die verschiedenen Fraktionen zerlegt. Dabei ergab sich ein zusätzlicher, für die konkreten Ausgestaltung industrieller Zerlegebetriebe wichtiger Aspekt: Die Konstruktion der heute zurückkommenden Geräte wurden in der Regel noch nicht demontagegerecht gestaltet. Eine zerstörungsfreie Demontage – Grundvoraussetzung für jede Art des Produktrecyclings - ist in diesem Fall zumeist nicht möglich. Die Zerlegung muss vielmehr häufig mit dem Hammer erfolgen.

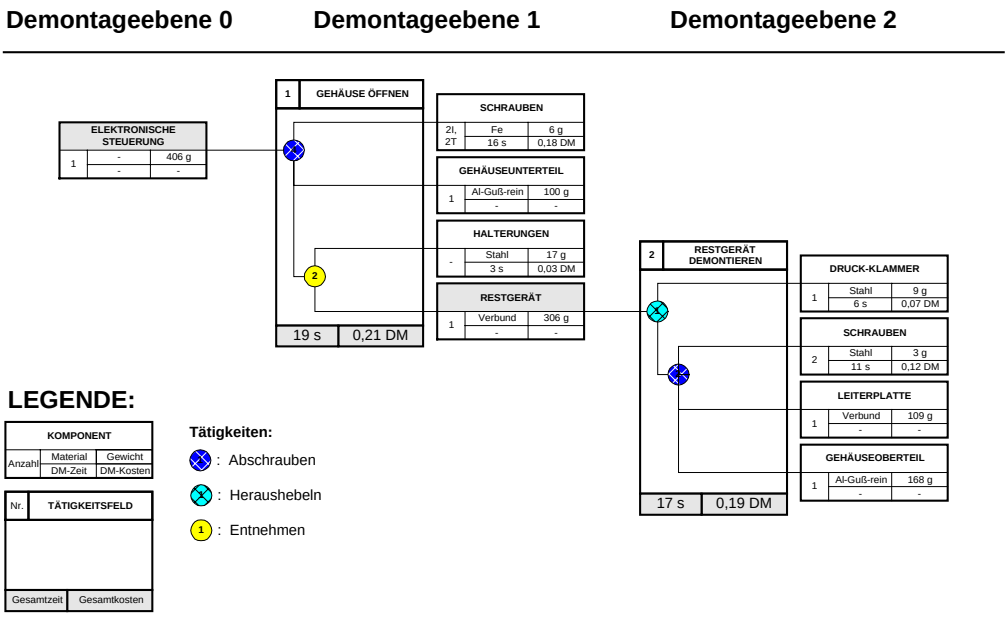


Bild 3.2-3: Demontagevorranggraph eines elektronischen Steuergeräts

Die durch die Musterdemontagen gewonnenen Erfahrungen und Daten bildeten die Grundlage für zahlreiche weitergehende Arbeiten in IREAK. Beispielsweise wurden die im nachfolgenden Abschnitt vorgestellten Anforderungskataloge unter anderem anhand dieser Basis erarbeitet.

3.2.3.3 Anforderungskataloge

Als Grundlage für die Erarbeitung der Pflichtenhefte für konkrete Demontagesystemalternativen wurden von Hetzel für drei ausgewählte Beispielprodukte umfassende Anforderungskataloge erstellt. Als Beispiel für Kleingeräte wurde ein Kartenprüfgerät ausgewählt, als Vertreter für Bildschirmgeräte diente ein Monitor und als Repräsentant eines „größeren“ Mittelgeräts ein Kopierer.

Hierzu wurden in den Anforderungskatalogen zunächst die jeweiligen Gerätedaten (Größe, Gewichte, Fraktionierungsergebnisse, Demontagezeiten, Durchsatzdaten, usw.) zusammengestellt. Anschließend erfolgte eine detaillierte Darstellung des Arbeitsablaufs bei der Verwertung des jeweiligen Produktes, unterteilt in folgende Arbeitsschritte:

- *Bereitstellung / Antransport der Produkte*

mit Angaben zu verwendeten Behältersystemen, Sicherungsmaßnahmen, Lagerbedingungen, Transporthilfsmittel, usw.

- *Einschleusen in die Anlage / Vorarbeit*

mit Angaben zu erforderlichen Vorarbeiten wie z.B. Vereinzelung oder Reinigung der Geräte

- *Transport*
- *Detaillierte Beschreibung des Demontageablaufs*

beispielsweise mit Angabe von Demontageschritten, Anforderungen an die Arbeitsplätze und Werkzeuge, Platzbedarf, Sammelsystemen für Fraktionen, Produktrecycling, usw.

- *Bearbeitung der Fraktionen*

mit Angaben zu weiteren Bearbeitungsschritten an bestimmten Fraktionen, z.B. Bildröhren oder Kunststoffen

Zu den einzelnen Arbeitsschritten wurden jeweils die Anforderungen sowohl an die Demontageanlage als auch an das betriebliche Softwaresystem DEUS dokumentiert. Auf ihrer Grundlage konnten die entsprechenden Pflichtenhefte für Hard- und Software erstellt werden.

3.2.3.4 Zukünftige Produktrecycling-Anforderungen

Das Produktrecycling stellt grundsätzlich andere Anforderungen an die Geräteverwertung als das heutzutage zumeist praktizierte Materialrecycling. Wesentlich ist hier eine saubere Arbeitsumgebung. Die Demontage muss zerstörungsfrei erfolgen, gegebenenfalls müssen elektrostatische Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Vor einer Wiederverwendung müssen umfangreiche Funktionsprüfungs- und Reinigungsarbeiten durchgeführt werden. Auch Reparaturarbeiten können in Frage kommen.

Personalqualifikation, Arbeitsumfeld und Betriebsorganisation müssen modernen Anforderungen gerecht werden. Ein umfassendes Qualitätsmanagementsystem muss das Niveau eines modernen Herstellungsbetriebes erreichen. Alle Abläufe müssen dokumentiert werden, die Qualität und Zuverlässigkeit der Produkte muss nachvollziehbar sichergestellt sein.

3.2.4 Das GaG-Konzept

In Kapitel 3.2.3.1 wurde die in heutigen Recyclingbetrieben anfallende Zusammensetzung des Elektronikschrotts beschrieben. Dabei fehlt eine für einen zukunftsweisenden industriellen Demontagebetrieb wichtige Produktgruppe: Geräte mit Produktrecycling-Option. Darunter sind Geräte zu verstehen, die entweder komplett einer erneuten Verwendung zugeführt werden können, oder die einzelne Komponenten oder Bauteile enthalten, die in das Produktrecycling eingebracht werden können.

Unter Produktrecycling versteht man zumeist die Wiederverwendung, d.h. die erneute Verwendung der Geräte oder Komponenten entsprechend ihrer ursprünglichen Funktion (Bild 3.2-4). Diese Art des Produktrecyclings führt derzeit nur ein Nischendasein, die erforderlichen Rahmenbedingungen für einen direkten Wiedereinsatz der Produkte in Zusammenarbeit mit den Herstellerbetrieben sind zumeist nicht gegeben. Daher wurde im Projekt IREAK ein neuartiges Konzept zur Weiterverwendung von Produkten betrachtet: das "GaG-Konzept".

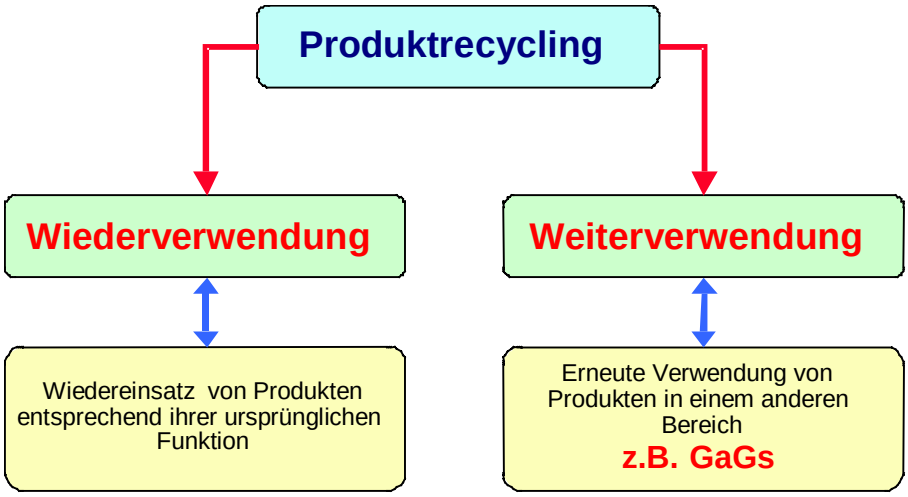


Bild 3.2-4: Einordnung des GaG-Konzeptes

GaG steht für „Geräte aus Gebrauchtem“. Das heißt, aus verschiedenen Komponenten alter Elektronikgeräte sollen völlig neue Produkte entwickelt und gebaut werden. Wir bewegen uns mit diesem Konzept in einem zumeist außer Acht gelassenen Bereich des Produktrecyclings, der Weiterverwendung. Darunter ist die erneute Verwendung von Produkten in anderen Bereichen, d.h. nicht in ihrem ursprünglichen Einsatzgebiet, zu verstehen. Dieser anderen Bereiche können unter anderem die GaGs sein.

Um zu einem GaG zu kommen, ist zunächst eine konkrete Produktidee erforderlich. Dabei kann es sich um ein völlig neuartiges Produkt handeln oder um die Abwandlung eines bereits existierenden Produkts. Nächster Schritt ist die Suche nach geeigneten Funktionskomponenten in Elektronikaltgeräten. Aus diesen Altkomponenten wird - gegebenenfalls nach entsprechender Umarbeitung und in Ergänzung mit Neuteilen - ein Prototyp des neuen Produkts erstellt. Anschließend beginnt die umfassende Detailplanung für eine Serienfertigung.

Die Realisierungsmöglichkeit dieses Konzepts wurde anhand von zwei Beispielen unter Beweis gestellt. Ein einfaches Beispiel ist das sog. "Touch Me". Dieses Gerät zeigt bei Berührung einer Kontaktfläche an, ob die jeweilige Person elektrostatisch aufgeladen ist. Ist eine Aufladung vorhanden, so wird die Person gleichzeitig entladen. Angewen-

det werden kann dieses Gerät beispielsweise an Arbeitsplätzen, an denen mit elektrostatisch empfindlichen Geräten umgegangen wird. Das "Touch Me" wird im wesentlichen hergestellt aus einem Prüfgerät für Telefonkarten (Bild 3.2-5).

Ein weiteres, wesentlich komplexeres GaG ist die Folienwaschmaschine. Dieses Gerät dient dazu, gebrauchte Overheadfolien zu reinigen und damit wiederverwendbar zu machen. Die Folienwaschmaschine ist ein ideales Beispielprodukt für GaGs, da das Gerät mit seiner Funktion selbst im Rahmen der Kreislaufwirtschaft tätig ist. Aus diesem Grund kann von einer hohen Akzeptanz der Kunden für die Herstellung aus gebrauchten Teilen ausgegangen werden. Der Kern der Folienwaschmaschine wurde aus Komponenten verschiedenster Altgeräte hergestellt. Unter anderem fanden Teile aus Kopierern, Druckern und Waschmaschinen eine erneute Verwendung (Bild 3.2-5).

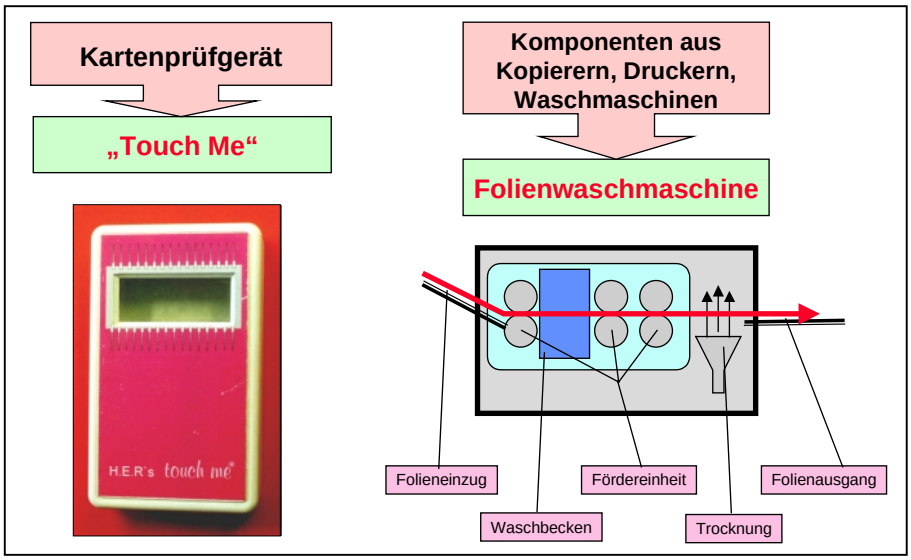


Bild 3.2-5: Beispielprodukte für GaGs

Sowohl für den "Touch Me" als auch für die Folienwaschmaschine wurden funktionsfähige Prototypen erstellt.

Bei einer Eignung für das Produktrecycling erfordern die Geräte eine andere Behandlung als die in Abschnitt 3.2.3.1 beschriebenen, derzeitigen Produktgruppen. Hier zeigen sich starke Ähnlichkeiten zur Montageplanung. Insbesondere das "GaG-Konzept" beinhaltet ja nicht nur die Demontage der Geräte, sondern auch die Montage der "Geräte aus Gebrauchtem".

Dadurch ergeben sich neue Rahmenbedingungen für einen Verwertungsbetrieb. Grundvoraussetzung ist beispielsweise der Aufbau von Systempartnerschaften mit Herstellerbetrieben zur Erhöhung der Pla-

nungssicherheit. Zusätzlich entstehen im Vergleich zu herkömmlichen Demontageplätzen attraktivere Arbeitsplätze.

Die Demontage der Kartenprüfgeräte und die Montage der Touch mes wurden auf Basis des erstellten Prototypen detailliert erarbeitet und in Zusammenarbeit mit dem IAT an dessen Modellfabrik in Stuttgart industriell realisiert. Das Vorgehen und die Ergebnisse sind in Kapitel 3.3.1.8 beschrieben. Der gesamte Demontage- und Montageablauf wurde als Video dokumentiert.

Insgesamt steckt das "GaG-Konzept" noch in den Kinderschuhen. "Touch Me" und Folienwaschmaschine sind Beispielprodukte, mit denen die prinzipielle Funktionsfähigkeit des Konzepts unter Beweis gestellt werden konnte. Es besteht allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf, um dieses Konzept tatsächlich in die Realität umsetzen zu können.

Dennoch sind die GaGs eine interessante Zukunftsperspektive für Elektronikrecyclingbetriebe. Sie tragen erheblich zur Wirtschaftlichkeit des Elektronikrecyclings bei, da ihr Verkaufserlös die im Zerlegebetrieb anfallenden Verwertungskosten reduziert. Darüber hinaus erhält der Verwertungsbetrieb ein weiteres Standbein, er wird zu einem Produktionsbetrieb. Dies führt zu einem Imagegewinn bei Kunden und in der Öffentlichkeit. Außerdem kann die Vermarktung der GaGs zur Existenzsicherung von Zerlegebetrieben und damit zur Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen beitragen.

3.3 Konzeption und Planung von Verwertungsbetrieben

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse entstanden in enger Zusammenarbeit mit folgenden Teilprojekten:

TV 6: Entwicklung von demontagerelevanten Arbeitssystemen und deren Subsysteme (verantwortlich: G.W. Sohlberg GmbH);

TV 8: Demontageplanung/Demontagesystemplanung und intranetbasierte Informationsunterstützung (verantwortlich: IAT Institut Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement Universität Stuttgart)

Ziel einer ganzheitlichen, bereichsübergreifenden Konzeption und Planung komplexer Verwertungsbetriebe ist es, das Zusammenwirken der Systemelemente zu planen und deren Verträglichkeit sicherzustellen. Neben der Optimierung einzelner Arbeitsplätze und Aufgabenbereiche rücken die zusammenhängenden Funktionen des gesamten betrieblichen Leistungserstellungsprozesses und deren Integration stärker in den Mittelpunkt der Überlegungen. Das Demontagesystem wird als Teil des Gesamtsystems ›Verwertungsbetrieb‹ betrachtet.

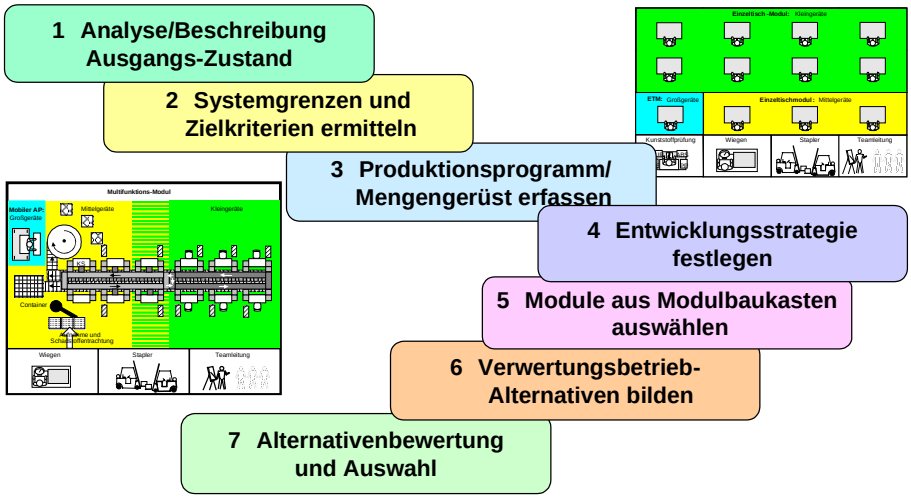


Bild 3.3-1: Vorgehensweise zur Planung und Bewertung von Verwertungsbetrieben

Die in Bild 3.3-1 dargestellte Vorgehensweise ist, in Anlehnung an in der Produktionssystemplanung bekannter Planungssystematiken[1,2,3] , im Rahmen von IREAK erarbeitet worden.

Die Vorgehensschritte zur Planung und Bewertung von Verwertungsbetrieb-Alternativen werden in den folgenden Kapiteln detailliert be-

[1] Warnecke 1984

[2] Bullinger 1995

[3] Lentes, Bender, Rieth 1992

schrieben und anhand von Beispielen eines typischen Verwertungsbetriebs, der Firma Hetzel, veranschaulicht.

3.3.1 Analyse / Beschreibung Ausgangs-Zustand

3.3.1.1 Allgemeine Beschreibung des Vorgehensschrittes

Bevor mit der eigentlichen Planungsphase begonnen werden kann, muss im ersten Vorgehensschritt der vorliegende Ausgangs-Zustand bezüglich folgender Punkte analysiert und beschrieben werden:

- Verwertungsbetriebsart und -größe
- Eingesetzter Demontagesystemtechnik
- Vorhandener Betriebsmittel und Werkzeuge
- Arbeitsplatzgestaltung
- Arbeitsunterlagen/Informationsbereitstellung
- Aufbau- und Ablauforganisation
- Personalqualifikation

Der so dokumentierte Ausgangs-Zustand gibt zum einen erste Hinweise auf Gestaltungsmängel und -potentiale und dient zum anderen als Bewertungsbasis für den weiteren Planungsprozess.

3.3.1.2 Verwertungsbetriebspezifische Anwendung

Die Firma Hetzel ist mit 20 in der Demontage beschäftigten Mitarbeitern ein typischer Vertreter eines Elektronikrecyclingbetriebs. Wie in Kapitel 3.2.1 ausgeführt, kommt heute der größte Teil des abgegebenen Elektronikschrotts aus zwei Bereichen. Eine große Rollen spielen die kommunalen Sammlungen, über die die Altgeräte der privaten Haushalte erfasst werden. Der zweite Bereich sind die Direktanlieferungen der Wirtschaft. Durch das unsortierte und teilweise chaotische Geräteaufkommen mit schwer planbaren Mengen- und Produktströmen spielt die betriebliche Flexibilität eine entscheidende Rolle[4,5,6].

Wie ebenfalls in Kapitel 3.2.1 dargestellt, erfolgen Sammlung und Transport des Elektronikschrotts nicht allzu sorgfältig. Allein dadurch sind viele Altgeräte von vorneherein nicht für das Produktrecycling, d.h. für eine erneute Verwendung, geeignet. Für sie bleibt nur das

[4] Grieger, Menrad, Schlögl

[5] Menrad, Schlögl 1999a

[6] Menrad, Schlögl 1999b

Materialrecycling, die stofflichen Verwertung. Zur Zeit spielt daher das Produktrecycling bei Hetzel - wie in der gesamten Branche - nur eine untergeordnete Rolle.

Aufgrund der in den Kapiteln 1.1.1 und 3.2.1 beschriebenen Situation und Rahmenbedingungen im Bereich Elektronikrecycling hat sich die heutige Struktur der Firma Hetzel entwickelt. Im Mittelpunkt der Tätigkeit des Verwertungsbetriebs steht der einzelne Zerlegeplatz, an dem die Arbeitskraft den anfallenden Elektronikschrott sortiert und demontiert. Eine umfassende Verkettung mehrerer Arbeitsplätze ist ebenso wenig vorhanden wie eine automatische Zufuhr der Geräte und Abfuhr der Faktionen über Transportsysteme. Vielmehr erfolgt der Geräteantransport in der Regel mit Stapler oder Hubwagen, für die Sammlung und Weiterleitung der Fraktionen werden einfache Behältersysteme eingesetzt. Standardwerkzeuge sind Hammer und Schrauber.

3.3.2 Systemgrenzen und Zielkriterien ermitteln

3.3.2.1 Allgemeine Beschreibung des Vorgehensschrittes

Nach der Analyse des Ausgang-Zustands des direkt betroffenen Bereichs gilt es, die Systemgrenzen der Planung festzulegen. In diesem Zusammenhang ist beispielsweise zu klären, ob der komplette Verwertungsbetrieb (inkl. Lager, Arbeitsvorbereitung, Transport, Entwicklung, EDV, usw.) oder lediglich ein für eine bestimmte Produktgruppe zuständiges Demontagesystem (ohne indirekte Bereiche) der Planungsgegenstand und damit gestaltbar ist.

Bei der Ermittlung der Zielkriterien werden, ausgehend von den zu Planungsbeginn vorgegebenen Grundanforderungen, wie z.B. Wirtschaftlichkeit, Flexibilität, usw., global formulierte Ziele in konkrete, einander ergänzende Teilziele umgesetzt. Die Erarbeitung, Darstellung und Bewertung der Teilziele ist notwendig, damit zueinander konkurrierende Lösungsvorschläge miteinander verglichen werden können. Dazu werden die Teilziele in:

- monetär quantifizierbare Ziele und
- monetär nicht quantifizierbare Ziele

getrennt, wobei der Übergang zwischen diesen zwei Bereichen z. T. fließend ist. Monetär quantifizierbare Ziele sind durch Mengen- und Zahlenangaben direkt oder indirekt leicht beschreibbar. Indirekt beschreibbar bedeutet, dass sie durch die Multiplikation mit Leistungs- und Kostenfaktoren monetär quantifiziert werden.

Monetär nicht quantifizierbare Ziele können nicht durch Mengen- und Zahlenangaben beschrieben werden. Sie werden, da den verschiedenen Kriterien bei die Erfüllung der Gesamtzielsetzung eines Planungsprojekts unterschiedliche Bedeutung zukommt, projektbezogen gewichtet. Durch die Gewichtung vor Planungsbeginn kommt es nachfolgend zur zielorientierten Entwicklung der alternativen Verwertungsbetriebsstrukturen. Da die zu treffenden Entscheidungen in der Regel für mehrere Bereiche oder Abteilungen von großer Bedeutung sind, empfiehlt es sich, die Gewichtung im Team, d. h. mit Mitarbeitern aus den verschiedenen Bereichen, durchzuführen.

Die häufigsten zwei Methoden zur Gewichtung im Team sind:

- die Vergabe von Gewichtungspunkten und
- der paarweise Vergleich (näheres [7,8]).

Die ›Vergabe von Gewichtungspunkten‹ ist ein schnelles Verfahren zur Gewichtung von Zielkriterien. Dabei hat jedes Planungsteammitglied die Möglichkeit, auf die Anzahl der Zielkriterien eine üblicherweise dreifache Menge an Punkten aufzuteilen, die im Anschluss daran durch die Planungsteammitglieder ausgewertet werden. Die Gewichtung der Zielkriterien wird bei der späteren Beurteilung der Planungsalternativen des Verwertungsbetriebs aufgegriffen und zur Berechnung des Arbeitssystemwerts verwendet (siehe Kapitel 3.3.1.7).

3.3.2.2 Verwertungsbetriebspezifische Anwendung

In Bild 3.3-2 sind die Systemgrenzen des betrachteten Verwertungsbetriebs definiert, d.h. Planungsgegenstand sind die Bereiche, die zur Demontage aller Produkte erforderlich sind und zwischen den Schnittstellen Eingangs- und Ausgangslager liegen. Hierbei kommt dem Eingangslager im wesentlichen eine Pufferfunktion zu, so dass eine (Vor-)Sortierfunktion, wenn überhaupt, nur in geringem Umfang vorgesehen ist. Nicht Gegenstand der Betrachtung ist die gesamte außerbetriebliche Logistik, da davon auszugehen ist, dass der Verwertungsbetrieb hierauf - insbesondere bei der Rückführlogistik - nahezu keinen Einfluss ausüben kann.

[7] Auch 1985

[8] Lentes, Bender, Rieth 1992

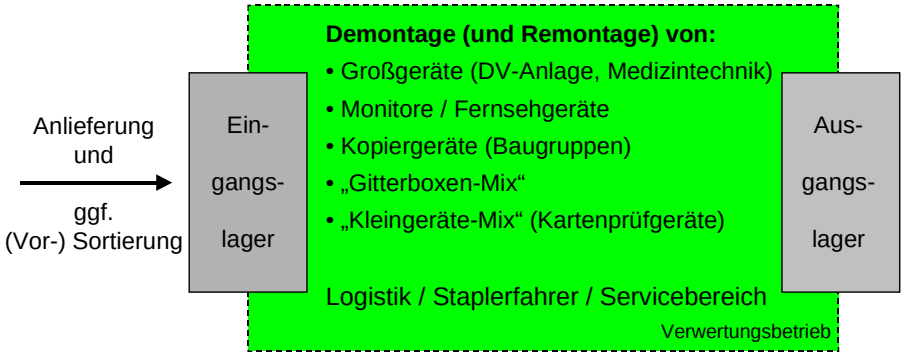


Bild 3.3-2: Systemgrenzen des betrachteten Verwertungsbetriebs

Zu Beginn der Planungsaktivitäten wurden mittels einer Metaplan-Abfrage innerhalb des Planungsteams alle nicht oder nur schwer quantifizierbaren Wünsche und Ziele an eine Neukonzeption der Demontage erfasst. Hieraus wurden die in Bild 3.3-3 dargestellten Zielkriterien gebildet, die dann bezüglich Ihrer Bedeutung durch die Vergabe von Gewichtungspunkten der einzelnen Teammitglieder gewichtet wurden.

Das in Bild 3.3-3 dokumentierte Ergebnis der Gewichtung zeigt, dass vor allem die Flexibilitätskriterien bezüglich der

- Verarbeitung unterschiedlichster Produkte,
- Umrüstbarkeit und des Transports,
- Anlagensteuerung sowie
- Stückzahlschwankungen

besonders hoch bewertet wurden. Aber auch eine Verbesserung des Abtransports der Materialfraktionen und der Arbeitsplatzattraktivität wurden als wichtig erachtet.

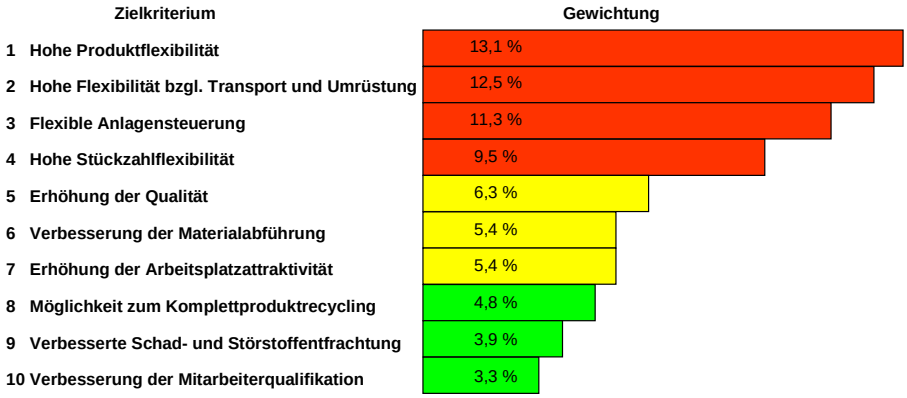


Bild 3.3-3: Zielkriterien für die Planung des Verwertungsbetriebs

Die aufgeführten Zielkriterien dienen als Leitlinien für die gesamte Demontagesystemplanung und werden ebenfalls zur Bewertung der Planungsalternativen (siehe Kapitel 3.3.7) durch die sogenannte Arbeitssystemwertermittlung herangezogen.

3.3.3 Produktionsprogramm / Mengengerüst erfassen

Sind bei der Produktionssystemplanung die Produkte und deren Aufbau sowie die Montagezeiten und Stückzahlen hinreichend genau bekannt, um die erforderlichen technischen und personellen Kapazitäten ermitteln zu können, so löst ein ähnliches Vorgehen zur Beschreibung des Produktionsprogramms in Verwertungsbetrieben eine gewisse Ratlosigkeit aus, da diese Informationen nicht vorliegen. Auch hat ein Verwertungsbetrieb i.d.R. keinerlei Einfluss auf die ihm von seinen Kunden (Kommunen, Industrie, usw.) zur Verwertung angelieferten Produkte und damit auf das Produktionsprogramm.

Die angelieferten Produkte sind, auch wenn total identisch, bezüglich ihres Zustands völlig unterschiedlich (Verschmutzung, Beschädigung, fehlende Bauteile und -gruppen) und somit ergeben sich auch unterschiedliche Zerlegezeiten. Weiteren starken Einfluss auf die Zerlegezeiten haben die Zerlegetiefe, die eingesetzten Werkzeuge und Betriebsmittel sowie Qualifikation und Einübungsgrad der Mitarbeiter. Auch unter “Laborbedingungen” (Montage rückwärts) durch Musterzerlegungen gewonnene Zerlegezeiten sind wenig hilfreich, da sie mit der verwertungsbetrieblichen Realität wenig gemein haben (Zerlegetiefe ist abhängig von den erzielbaren Rohstoffpreisen, wesentliche Werkzeuge bei der Zerlegung sind Schrauber, Hammer und Brecheisen).

Somit war eine der wesentlichen Herausforderungen der Anlagenplanung, hier eine praktikable Methode zu entwickeln, mit der dieses Planungsdilemma im Verwertungsbetrieb umschifft werden kann.

Die Beschreibung des Produktionsprogramms eines Verwertungsbetriebs muss gröber als in Produktionsbetrieben üblich gefasst werden. Basis können zum einen die Definition von Produktklassen bzw. -gruppen und zum anderen Vergangenheitswerte sein, mit denen eine hinreichend genaue Abschätzung des zukünftigen Produktionsprogramms getroffen werden kann (siehe hierzu auch Kapitel 3.2.3.1).

So können die eingehenden Elektronikaltgeräte in die Klassen

- Kleingeräte (Gewicht < 50 kg, max. Abmaße 500 x 500 x 500 mm),
- Mittelgeräte (Gewicht 50 bis 250 kg, max. Abmaße 1000 x 1000 x 1000 mm) und
- Großgeräte (Gewicht > 250 kg, Abmaße > 1000 x 1000 x 1000 mm)

unterschieden werden. Es wurde dann eine weitere Unterteilung der Klein- und Mittelgeräte in die Produktgruppen Gitterboxen-Mix, Kleingeräte-Mix, Monitore, Fernsehgeräte und Kopiergeräte vorgenommen. Die so gebildeten Produktgruppen sind im folgenden näher beschrieben:

- **Gitterboxen-Mix** sind alle ungeordneten Mischchargen-Anlieferungen, dabei handelt es sich um Gitterboxen, die verschiedenste Komplettgeräte, teilzerlegte Geräte und auch einzelne Fraktionen wie Leiterplatten, Batterien oder Kunststoffteile enthalten.
- **Kleingeräte-Mix** sind Chargen, die sich bei der Sammlung von Haushaltskleingeräten oder Unterhaltungselektronik ergeben (z.B. Kaffeemaschinen, Toaster, Bügeleisen, Fön, Walkman, Radios usw.).
- **Monitore**
- **Fernsehgeräte**
- **Kopiergeräte**
- **Großgeräte** wie z.B. medizintechnische Geräte, Laborgeräte, Schaltschränke usw.

Zur Quantifizierung des Produktionsprogramms eines Verwertungsbetriebs wird für jede Produktgruppe das Gewicht (statt der sonst üblichen Stückzahl) und die Zerlegezeit für eine Tonne dieser Produkte (ermittelt aus Zerlegeprotokollen) herangezogen.

In der bisherigen Beschreibung der (IST-)Produktgruppen fehlt eine für einen zukunftsweisenden industriellen Verwertungsbetrieb wichtige

Produktgruppe, die **Geräte mit Produktrecycling-Option** (führen derzeit nur ein Nischendasein)[9]. Darunter sind Geräte zu verstehen, die entweder komplett oder in Bauteilen einer erneuten Verwendung zugeführt werden können. Da sich hierbei starke Ähnlichkeiten zur Produktionsplanung ergeben, insbesondere das "GaG-Konzept" (vgl. Kapitel 3.2.4) beinhaltet ja nicht nur die sorgfältige Demontage der Geräte, sondern auch deren Remontage, kann dieses Segment des Produktionsprogramms mit den produktspezifisch ermittelten De-/Remontage-Vorgabezeiten und Stückzahlen exakt quantifiziert werden.

Die in Bild 3.3-4 angegebenen Daten basieren auf den realen Zahlen der Firma Hetzel. Sie dienen im weiteren als Grundlage für die konkrete Ausgestaltung eines industriellen Verwertungsbetriebs. Angegeben sind für jede Produktgruppe die Jahresmenge in Tonnen, die für die Demontage erforderliche Zerlegezeit, ermittelt aus den Zerlegeprotokollen der Mitarbeiter, und die sich hieraus ergebende, erforderliche Mitarbeiterzahl. Die Produktgruppe „Geräte mit Produktrecycling-Option“ konnte aufgrund noch nicht vorhandener nennenswerter Mengen nicht erfasst werden.

Produktgruppe		Beispiele	Jahresmenge [t]	Zerlegezeit [h]	Anzahl Zerlege-Mitarbeiter	
Kleingeräte (< 50 kg)	GiBo-Mix	Bürokomm. med. Geräte elektr. Geräte	650,5	6.985	5,67	8,0
	Kleingeräte-Mix	Telekommun. Haushalt Unterhaltung	153,1	2.871	2,33	
Mittelgeräte (50 - 250 kg)	PC-Monitore	PC-Monitore	175,1	2.094	1,7	3,0
	TV-Geräte	TV-Geräte	270,3	1.478	1,2	
	Kopierer	Kopierer	11,8	123	0,1	
Großgeräte (>250 kg)		elektr. Geräte med. Geräte	73,1	616	0,5	0,5
Summe			**1.333,8**	**14.168**		**11,5**

Bild 3.3-4: Mengengerüst Verwertungsbetrieb (Quelle: Hetzel 1997)

3.3.4 Entwicklungsstrategie festlegen

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 angedeutet, sind die meisten Elektronikrecyclingbetriebe derzeit nicht in der Lage, detaillierte Prognosen über die zukünftig eingehenden Produkte und Mengen sowie über deren Verwendungs- bzw. Verwertungspotenzial zu machen. Einem Planer fehlt allerdings ohne Kenntnis über zukünftig anfallende Produkte, Mengen und geeignete Verwertungsprozesse (Material- oder Produktrecycling) schlichtweg die Planungsbasis, um eine gegenüber den im

[9] Steinhilper 1999

Ausgangs-Zustand eingesetzten Einzelarbeitsplätzen höherwertige Technik rechtfertigen zu können.

Aufgrund dieser doch erheblichen Unsicherheiten muss sich jedes Verwertungsunternehmen mit folgender Frage auseinandersetzen: Wohin möchte ich mich strategisch in den nächsten 3 bis 5 Jahren entwickeln? Wie im Portfolio in Bild 3.3-5 dargestellt, gibt es neben dem Verharren im Ausgangs-Zustand grundsätzlich die drei Entwicklungsstrategien (Szenarien):

- Materialrecycler,
- Secondhand und
- Produktrecycler.

Diese haben einen entscheidenden Einfluss auf die Ausgestaltung des gesamten Verwertungsunternehmens und die dort eingesetzten Demontagetechniken sowie -anlagen.

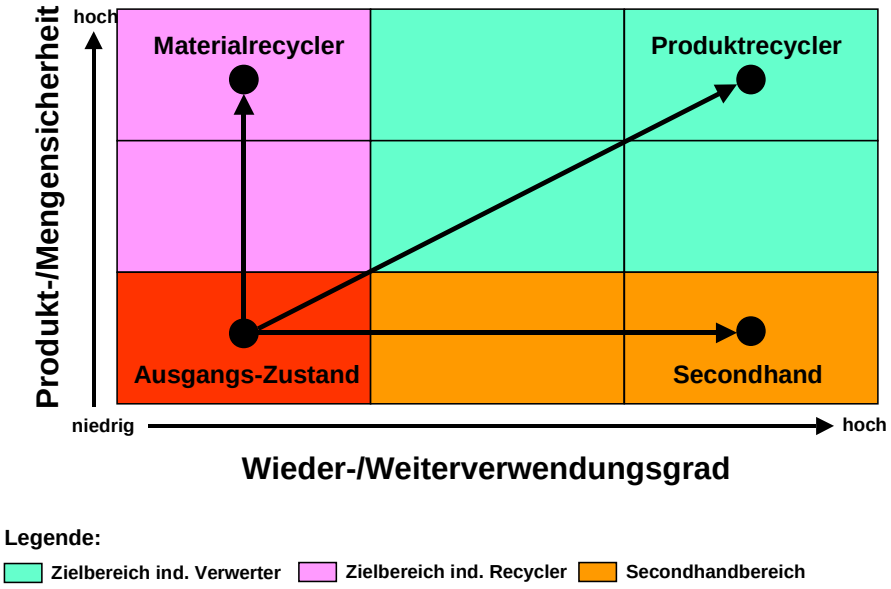


Bild 3.3-5: Entwicklungsstrategie für Verwertungsbetrieb festlegen

In Bild 3.3-6 sind die möglichen Ausprägungen der im Portfolio enthaltenen Kriterien Produkt-/Mengensicherheit und Wieder-/Weiterverwendungsgrad näher beschrieben.

Ausprägung bzw. Kriterium	gering	mittel	hoch
Produkt- / Mengensicherheit	Keine Aussage bzgl. Produktions-programm möglich	Produktionsprog. mittels Produkt-gruppen & Mengen beschreibbar	Produktionsprog. mittels Produkten, Stückzahlen & Vorgabezeiten exakt beschreibbar
Wieder- / Weiter-verwendungsgrad	Nur Materialrecycling möglich	Teile- und Baugruppenre-cycling möglich	Produktrecycling möglich

Bild 3.3-6: Beschreibung der Kriterien Produkt-/Mengensicherheit und Wieder-/Weiterverwendungsgrad

Szenario 1 (Materialrecycler) ist gekennzeichnet durch eine Erhöhung der Produkt-/Mengensicherheit bei gleichzeitig geringem Wieder-/Weiterverwendungsgrad der Produkte. D.h. der Verwerter kann hier eine Demontagetechnik dimensionieren und kapazitiv auslasten, die im wesentlichen zum Ziel hat, die Produkte in ihre Materialfraktionen zu zerlegen (soweit wirtschaftlich sinnvoll). Hierbei werden vornehmlich, wie z.B. bei der Gewinnung von definiertem Kunststoffmahlgut, verfahrenstechnische Anlagen zum Einsatz kommen.

In **Szenario 2 (Secondhand)** wird bei hohem Wieder-/Weiterverwendungsgrad nur eine geringe Produkt-/Mengensicherheit erreicht. Dieser Verwerter wird durch Annahme nur der für ihn interessanten Produkte (müssen funktionieren und wieder veräußerbar sein) in einer Art Secondhand-Kaufhaus versuchen, möglichst ohne aufwendige technische Einrichtungen auszukommen. D.h. er wird die Produkte lediglich einer Prüfung unterziehen, ggf. kleine Reparaturen durchführen und reinigen.

Szenario 3 (Produktrecycler) ist der bzgl. der Demontagetechnik für das IREAK-Projekt interessante Entwicklungsbereich. Denn bei gleichzeitig hoher Produkt-/Mengensicherheit und hohem Wieder-/Weiterverwendungsgrad wird die Königsklasse in der Verwertungsbranche, “der Produktrecycler”, erreicht. Paradebeispiele sind hier alle namhaften Kopiererhersteller, die ihre eigenen Kopierer zurücknehmen, wieder aufarbeiten und erneut an die Kunden verleasen. Hierbei findet die De-/Remontage mit der gleichen Technik, erweitert um einige Spezialarbeitsplätze (Reinigung), wie die Montage neuer Kopierer statt.

Fazit: Die heutigen “Feld-, Wald- und Wiesen-Verwertungsbetriebe” müssen sich entsprechend der aufgezeigten Entwicklungsstrategien spezialisieren, um sich bzgl. der Demontagetechnik weg von handwerklichen hin zu industriellen Strukturen entwickeln zu können.

3.3.5 Module aus Modulbaukasten auswählen

In diesem Vorgehensschritt sind Lösungsmöglichkeiten für verschiedene Teilsysteme eines Verwertungsbetriebs zu erarbeiten. Grundlage hierzu ist ein von den Projektpartnern IAT, GWS und Hetzel erstellter Modulbaukasten (siehe Bild 3.3-7). Da die erwarteten Stückzahlen und Mengen eher im geringen bis mittleren Bereich liegen, ist der Automatisierungsgrad der Module gering. Weitere Randbedingungen für die Erarbeitung der Module waren das in Kap. 3.3.1.3 vorgefundenen Produktionsprogramm und die definierten Produktgruppen.

Der in Bild 3.3-7 dargestellte Modulbaukasten lässt sich grob unterteilen in unverkettete Module, verkettete Module und Service-Module. Jedes Modul wird bzgl. seines Einsatzgebietes, determiniert im wesentlichen durch Produktmaße und -gewicht, klassifiziert sowie mit den wichtigsten Kennzahlen (erforderliche Investitionen, benötigter Flächenbedarf, Produktivitätssteigerung (Basis ist der Ausgangs-Zustand), Durchsatz und Anzahl Arbeitsplätze (Modulgröße)) beschrieben.

Eine detaillierte Darstellung der Module sowie das Vorgehen bei der Werteermittlung erfolgt in Kapitel 3.4.

Auswahlkriterien / Modulbezeichnung		Einsatzgebiet: Großgeräte (> 250 kg)	Mittelgeräte 50 - 250 kg	Kleingeräte (< 50 kg)	Kleingeräte mit Produktrecycling	Wesentliche Kennzahlen: Investitionen [TDM]	Flächenbedarf * [m²]	Produktivitätssteigerung [%]	Durchsatz [to/a]	Anzahl Arbeitsplätze
nicht verkettet	Einzeltisch Modul	(X)	X	X	(X)	5,3	30	Basis	116	1
	Mobiler Arbeitsplatz	X				10	40	+3 bis +6	153	1
	Scheren-hubtisch-Modul		X			13	35	+3 bis +6	159	1
Verkettete Systeme	Linien-Modul 1		X			72	80	+8 bis +12	503	3
	Linien-Modul 2		(X)	X	X	107	180	+12 bis +17	1050	8
	Sortier-Modul			X	(X)	67	200	+5 bis +9	860	8
	Multi-funktions-Modul		(X)	X	X	778	330	+12 bis +20	1596	11
Service	Wiege-Modul	X	X	X	X	7,8	30	k.A.	k.A.	1
	Kunststoff-prüfmodul	X	X	X	X	3,0	30	k.A.	k.A.	1
	Stapler	X	X	X	X	25	k.A.	k.A.	k.A.	1

X Geeignet (X) Bedingt geeignet * Incl. Stellfläche für Fraktionierbehältnisse sowie Fahrwege (anteilig)

Bild 3.3-7: Überblick IREAK-Modulbaukasten

Analog zu dem in Bild 3.3-5 vorgestellten Entwicklungsstrategie-Portfolio sind in Bild 3.3-8 in der gleichen Darstellung die Module des Baukastens sowie einige verfahrenstechnische Anlagen beispielhaft den Entwicklungsbereichen zugeordnet.

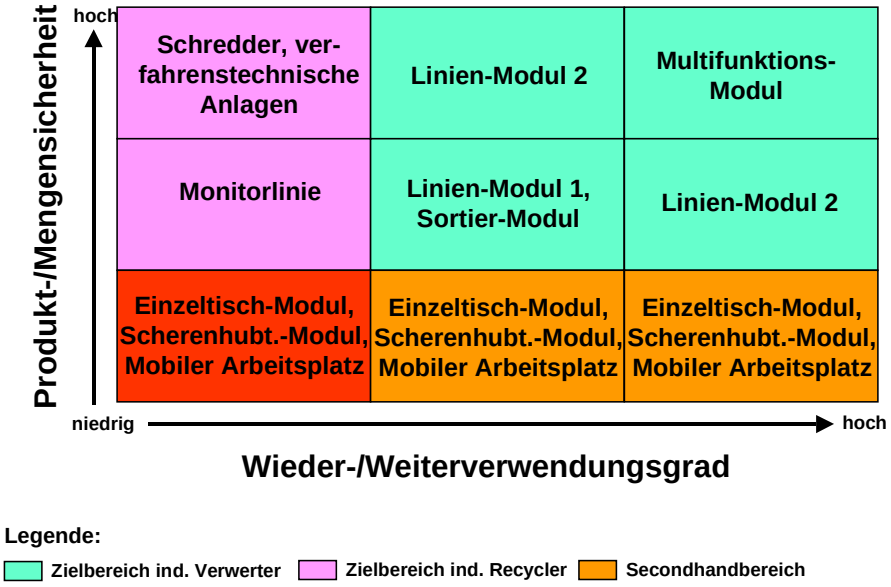


Bild 3.3-8: Zuordnung der Module im Entwicklungsstrategie-Portfolio

3.3.6 Verwertungsbetrieb-Alternativen bilden

In diesem Vorgehensschritt werden basierend auf

- dem ermittelten Produktionsprogramm (siehe Kapitel 3.3.1.3) und
- unterschiedlichen Entwicklungsstrategien (siehe Kapitel 3.3.1.4)

die in Frage kommenden Module aus dem Modulbaukasten ausgewählt und zu Verwertungsbetrieb-Alternativen zusammengesetzt. Hierbei wird die Anzahl der Arbeitsplätze bzw. Mitarbeiter aus dem Ausgangs-Zustand in allen Alternativen konstant gehalten. Dies führt zu unterschiedlichem Mengendurchsatz der jeweiligen Alternativen. Dieser wiederum fließt ein in die Bewertung (siehe Kapitel 3.3.7). Die im Folgenden dargestellten, drei gebildeten Verwertungsbetrieb-Alternativen sind somit in der Lage, das gleiche Produktionsprogramm mit unterschiedlichem Technikeinsatz zu bewältigen.

3.3.6.1 Der “Alleskönner” (Ausgangs-Zustand)

Bild 3.3-9 zeigt den Ausgangs-Zustand, der dem Ist-Zustand der meisten Verwertungsbetriebe entspricht. Dieser Betrieb ist durch eine geringe Produkt-/Mengensicherheit und einen geringen Wieder-/Weiterverwendungsgrad der Produkte geprägt, d.h. hier werden schwerpunktmäßig die eingehenden Produkte in ihre Materialfraktionen zerlegt, ein Baugruppen- bzw. Produktrecycling ist nur von untergeordneter Bedeutung. Um sehr flexibel und kostengünstig auf die geschilderten Gegebenheiten reagieren zu können, bietet sich hier der durchgängige Einsatz des Einzeltisch-Moduls für alle Produktgruppen an.

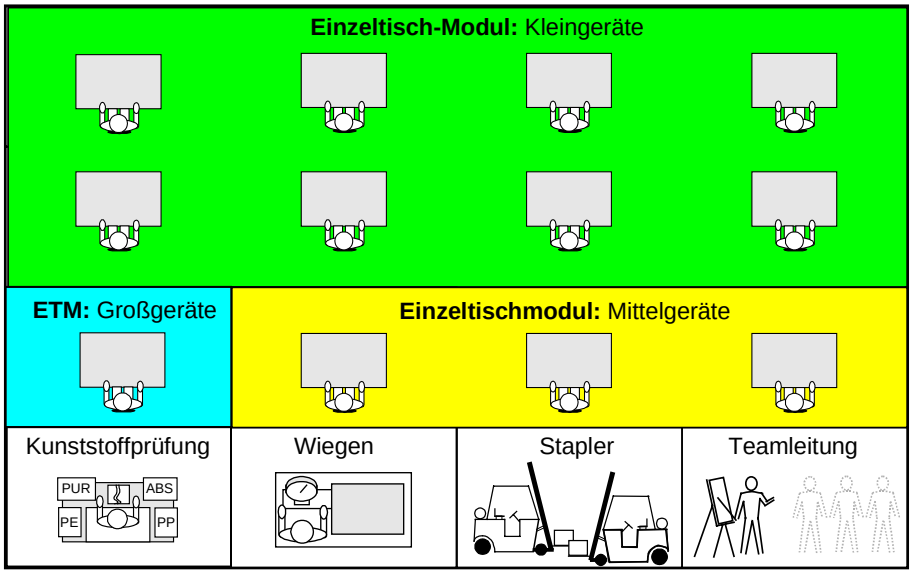


Bild 3.3-9: Der “Alleskönner” (Ausgangs-Zustand)

3.3.6.2 Der “Baugruppenrecycler” (Real-Zustand)

Der Baugruppenrecycler (Bild 3.3-10) verarbeitet im Gegensatz zum Alleskönner nicht mehr alle Produkte. Er hat sich auf Produkte spezialisiert, die wiederverwendbare Baugruppen enthalten. Diese baut er aus, prüft sie, führt die erforderliche Aufarbeitung durch und veräußert sie anschließend. Hierzu setzt er produktgruppenspezifische Demontagesystem-Module ein, beispielsweise folgende Module:

- Sortier-Modul für Kleingeräte,
- Linien-Modul 1 für Mittelgeräte und
- Mobilen Arbeitsplatz für Großgeräte.

Da diese Entwicklungsstrategie-Alternative bereits heute gute Realisierungschancen aufweist, wird sie auch als Real-Zustand bezeichnet.

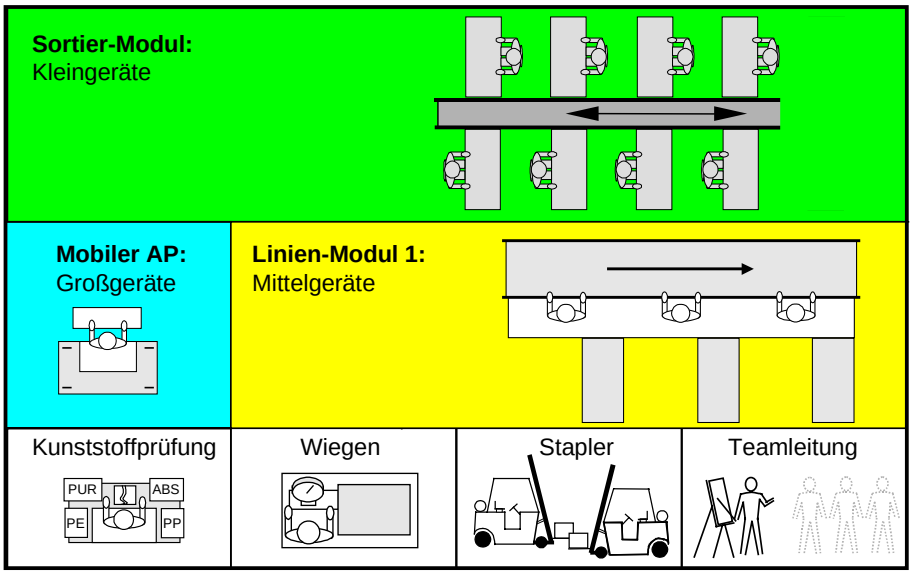


Bild 3.3-10: Der “Baugruppenrecycler” (Real-Zustand)

3.3.6.3 Der “Produktrecycler” (Ideal-Zustand)

Den Ideal-Zustand, der aufgrund verschiedener Faktoren von der heutigen verwertungsbetrieblichen Realität noch ein gutes Stück entfernt ist, zeigt Bild 3.3-11. Der Verwertungsbetrieb geht eine Systempartnerschaft mit einem Herstellerunternehmen ein und erhält so, durch Kenntnis aller Produktinformationen, eine hohe Produkt-/Mengensicherheit. Unter der Voraussetzung, dass der Hersteller sich bereits in der Produktentwicklungsphase mit der Thematik Wieder-/Weiterverwendung auseinandergesetzt und diese konstruktiv berücksichtigt hat, ist auch der Wieder-/Weiterverwendungsgrad der Produkte hoch.

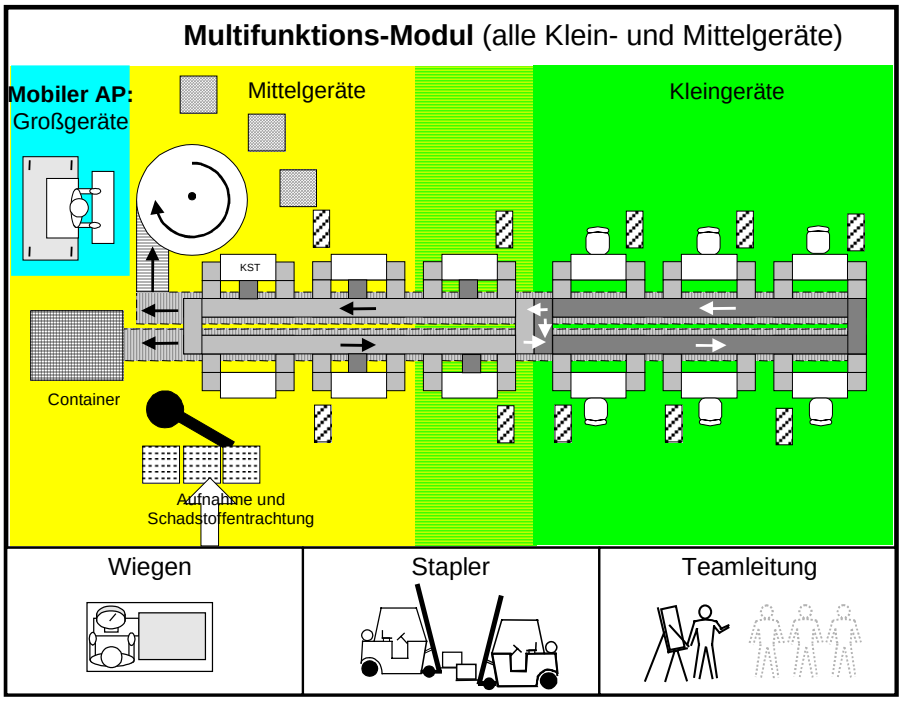


Bild 3.3-11: Der “Produktrecycler” (Ideal-Zustand)

Auf Basis dieser Voraussetzungen ist der Einsatz des komplexen Multifunktions-Moduls für Klein- und Mittelgeräte sinnvoll, das starke Ähnlichkeiten mit heutigen Montagetransfersystemen aufweist. Denn auch bei der Demontage und Remontage wieder-/weiterverwendbarer Produkte und Baugruppen müssen Arbeitsplätze mit unterschiedlichen Anforderungen bzgl. Sauberkeit und Ausstattung flexibel miteinander verkettet werden, um damit den manuellen Handlingaufwand zu reduzieren.

3.3.7 Alternativenbewertung und Auswahl

Entwickelte alternative Lösungen müssen beurteilt werden, um zu entscheiden, welche Lösung feingeplant und in Folge realisiert werden soll. Es gilt, Entscheidungen zu treffen, die zur Auswahl einer Planungsalternative führen. Vor- und Nachteile von Alternativen sowie Chancen und Risiken müssen mit Hilfe eines Bewertungsverfahrens transparent gemacht werden.

Im Folgenden wird als Verfahren zur Bewertung von Arbeitssystemen die ›Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung‹ dargestellt, die sich von den konventionellen Wirtschaftlichkeitsrechnungen durch eine ganzheitliche Betrachtung ökonomischer Faktoren (Kosten, Leistungen) sowie technischer, organisatorischer und personeller Faktoren unter-

scheidet. Eine ausführliche Beschreibung wesentlicher Schwerpunkte des Verfahrens ist in [10] zu finden.

3.3.7.1 Allgemeine Beschreibung des Vorgehensschrittes

Die eigentliche Bewertungsphase der ›Erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung‹ besteht aus folgenden, in Bild 3.3-12 dargestellten Teilen: der Arbeitssystemwertermittlung und dem Wirtschaftlichkeitsvergleich. Die Bestimmung der monetär schwer oder nicht erfassbaren Auswirkungen ist Aufgabe der Arbeitssystemwertermittlung. Im Wirtschaftlichkeitsvergleich werden die monetär erfassbaren Auswirkungen ermittelt. Beide Teilbewertungen werden in einer gemeinsamen Ergebnisdarstellung wieder zusammengeführt.

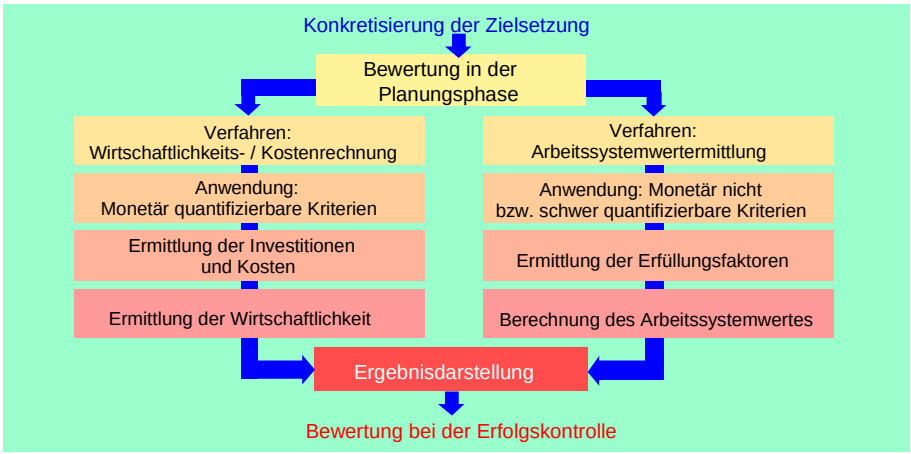


Bild 3.3-12: Aufbau des Bewertungsverfahrens ›Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung‹[11]

3.3.7.2 Verwertungsbetriebspezifische Anwendung

In Bild 3.3-13 sind die Ergebnisse des erweiterten Wirtschaftlichkeitsvergleichs für die erarbeiteten Verwertungsbetrieb-Alternativen dargestellt. Hierbei wurden für jede Alternative der dimensionslose Arbeitssystemwert (berücksichtigt die nicht oder nur schwer zu quantifizierenden Zielkriterien) sowie die erforderlichen Investitionen und der erwartete Mehrerlös durch die Produktivitätssteigerung der Systeme im Vergleich zum Ausgangs-Zustand ermittelt.

[10] Auch 1985

[11] Lentes, Bender, Rieth 1992

Aus den sich ergebenden Investitionen und Mehrerlösen wird nochmals deutlich, dass bei identischem Produktionsprogramm (geringe Produkt-/Mengensicherheit und geringer Wieder-/Weiterverwendungsgrad der Produkte) allenfalls der Real-Zustand befriedigende Amortisationszeiten (ca. 1,1 Jahre) ausweist. Für den Ideal-Zustand hingegen können die hohen Investitionen nicht mit den erwarteten Mehrerlösen gerechtfertigt werden (ca. 4,7 Jahre Amortisationszeit), sondern hier muss sich an der Qualität des Produktionsprogramms in Richtung Erhöhung von Produkt-/Mengensicherheit und Wieder-/Weiterverwendungsgrad deutlich etwas ändern. Die dann aus dem Baugruppen- und Produktrecycling erzielbaren Mehrerlöse sind in der Darstellung in Bild 3.3-13 **nicht** enthalten.

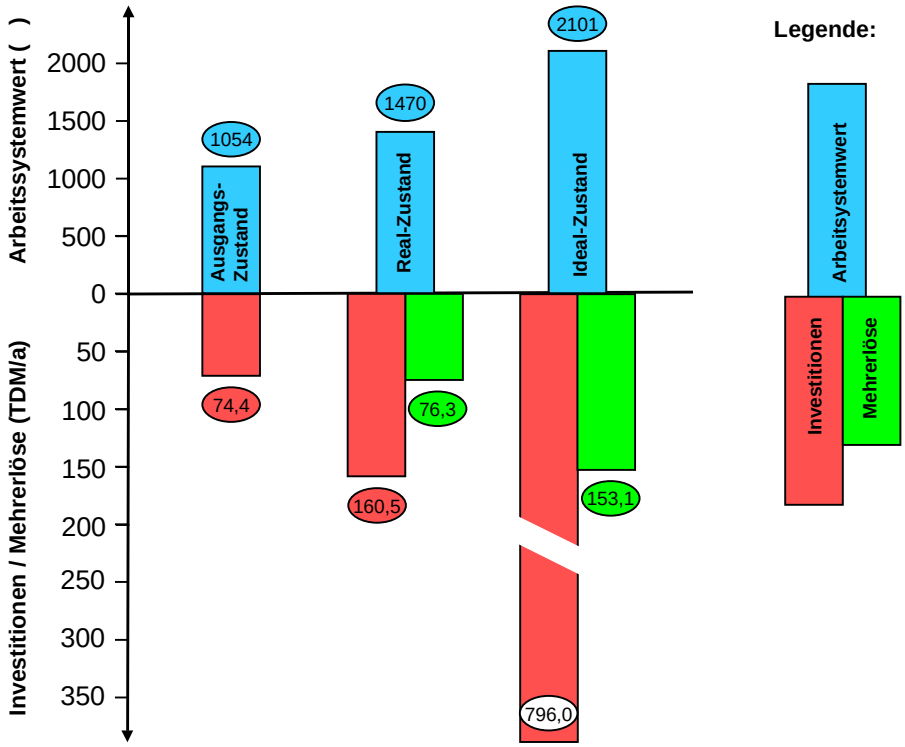


Bild 3.3-13: Gegenüberstellung Arbeitssystemwert, Investitionen, Mehrerlöse

3.3.8 Realisierung einer De-/Remontageanlage in der Modellfabrik des IAT

Die in der Modellfabrik[12] prototypisch realisierte De-/Remontageanlage erfüllt zum einen die ermittelten projektspezifischen Zielkriterien (siehe Kapitel 3.3.2) und zum anderen stellt sie eine zukunftsorientierte Lösung für das Produktrecycling dar. Als Produkt wurde das in Kapitel 3.2.4 beschriebene Kartenprüfgerät/„Touch Me“ ausgewählt. Da dieses der Kategorie Kleingeräte angehört, wurde in der Modellfabrik des IAT nicht das gesamte Multifunktions-Modul (siehe Kapitel 3.3.5), sondern nur der Anlagenteil für Kleingeräte realisiert.

Die Planung der Anlage[13] wurde mit Hilfe der Software ERGOMAS[14] visualisiert. In Bild 3.3-14 ist ein Überblick über die gesamte Anlage zu sehen. Zum besseren Verständnis der folgenden Arbeitsplatzbeschreibungen sind die Arbeitsplätze nummeriert.

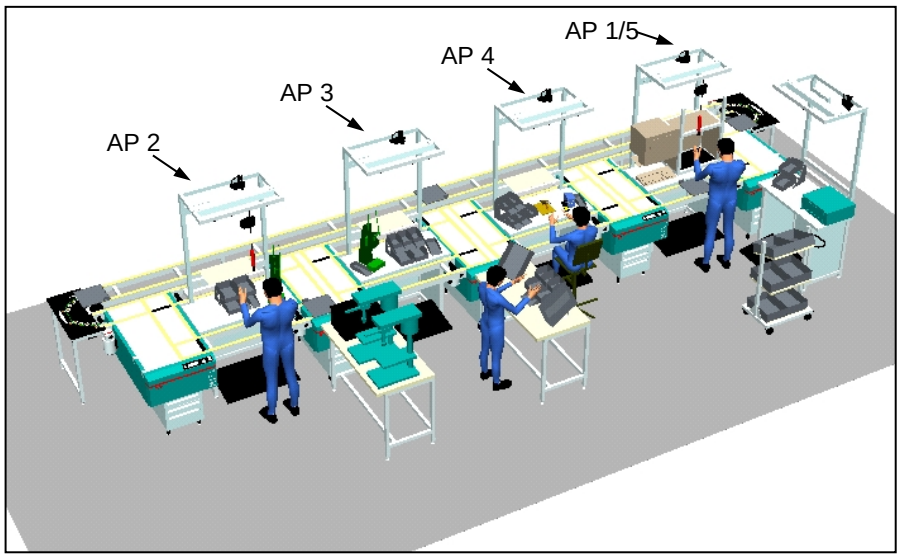


Bild 3.3-14: Überblick über gesamte Demontage-/Remontageanlage in ERGOMAS

Die Demontage und Remontage erfolgt im wesentlichen auf einem Werkstückträger. Für die Demontage des Kartenprüfgerätes und die Remontage des „Touch Me“ wurde eine spezielle Werkstückträger-Aufnahme entwickelt (Bild 3.3-15).

[12] Bender 1997

[13] Kaufmann 1999

[14] DELTA 1997

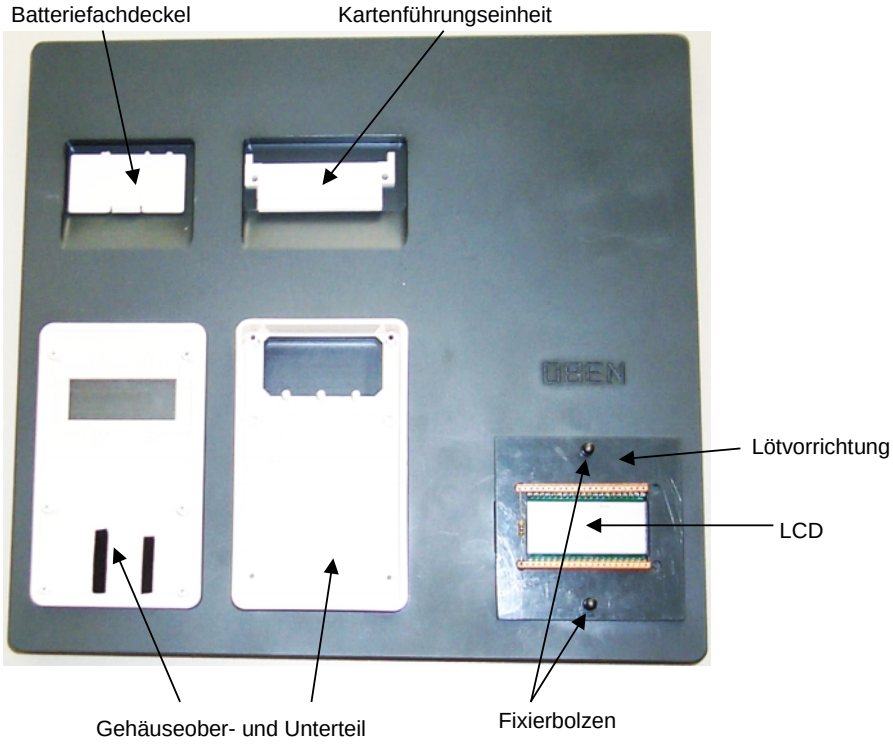


Bild 3.3-15: Aufnahme für den Werkstückträger mit Produkt und Vorrichtungen

3.3.8.1 Eingangsprüfplatz (Arbeitsplatz 1)

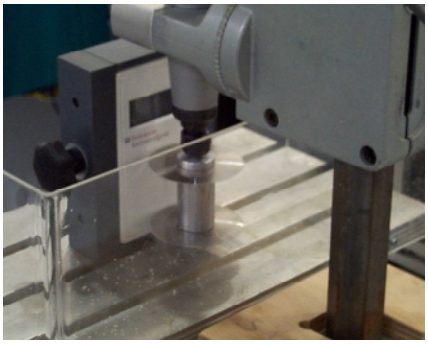
Die Kartenprüfgeräte werden mittels eines Montagewagens am Arbeitsplatz 1/5 (Bild 3.3-16) bereitgestellt. Dort entnimmt der Mitarbeiter die Kartenprüfgeräte und unterzieht sie einer Sichtkontrolle. Ist das Kartenprüfgerät optisch in Ordnung, so wird die Batterie entnommen, in einem Behälter abgelegt und ein Funktionstest durchgeführt. Bei diesem Funktionstest wird das Kartenprüfgerät an eine externe Spannungsquelle angeschlossen, mittels einer Telefonkarte wird die Funktion des Kartenprüfgerätes bzw. des LCD überprüft. Anschließend werden das Kartenprüfgerät und der Batteriefachdeckel auf dem Werkstückträger platziert und dieser zum Arbeitsplatz 2 weitergeschickt.

Bild 3.3-16: Arbeitsplatz 1/5

3.3.8.2 Demontageplatz (Arbeitsplatz 2)

Das am Arbeitsplatz 1 für "in Ordnung" befundene Kartenprüfgerät wird auf dem Werkstückträger am Arbeitsplatz 2, dem Demontageplatz, angeliefert. Als erstes werden mit dem Druckluftschrauber die Schrauben aus dem Gehäuse herausgeschraubt und auf dem Werkstückträger in die Aussparung unterhalb der Aufnahme für das Gehäuseunterteil abgelegt. Dann wird das Gehäuseunterteil abgenommen und ebenfalls auf dem Werkstückträger in der dafür vorgesehenen Aussparung abgelegt, wodurch die Schrauben dann gegen herausfallen gesichert werden.

Anschließend werden die Gehäuseteile weiterbearbeitet. In das Gehäuseoberteil werden zwei Schlitze zur Aufnahme der Kontaktfläche und in das Gehäuseunterteil ein Langloch gefräst (Bild 3.3-17). Die bearbeiteten Gehäuseteile werden dann in eine Reinigungsmaschine gelegt und dort gereinigt. Der Werkstückträger wird parallel dazu zum Arbeitsplatz 3 weitergeschickt.



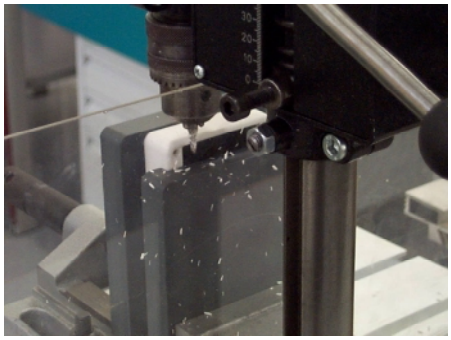


Bild 3.3-17: Fräsvorrichtung für Schlitze (links) und Langloch (rechts)

3.3.8.3 Remontageplatz 1 (Arbeitsplatz 3)

Nachdem der Werkstückträger den Arbeitsplatz erreicht hat, werden die gereinigten Gehäuseteile aus der Reinigungsmaschine entnommen und wieder auf dem Werkstückträger platziert. Am Arbeitsplatz 3 erfolgt zunächst die Vormontage des Erdungskabels (Bild 3.3-18).

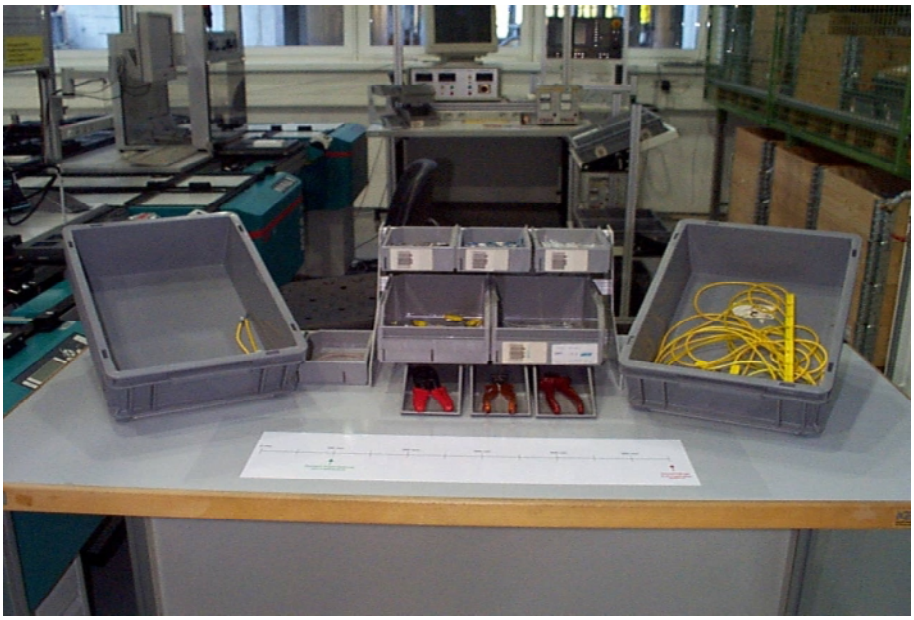


Bild 3.3-18: Vormontageplatz für das Erdungskabel

Danach wird die Kontaktfläche durch eine Vorrichtung in eine U-Form mit unterschiedlichen Schenkellängen gebracht. Die Klebeflächenschutzfolie wird entfernt und die Kontaktfläche wird durch die zwei im Gehäuse-Oberteil angebrachten Schlitze gesteckt und aufgeklebt. An die längere Schenkelseite wird mittels einer Niete eine Lötöse angenietet.

3.3.8.4 Remontageplatz 2 (Arbeitsplatz 4)

Der Arbeitsplatz 4 ist der Lötarbeitsplatz. Die Lötvorrichtung wird auf dem Werkstückträger positioniert und die Lötkämme werden an das LCD angelötet. Danach wird das LCD positioniert und mittels einer Heißklebepistole auf der Innenseite des Gehäuse-Oberteils befestigt. Das Anlöten der Widerstände erfolgt erst, wenn das LCD fixiert ist. Dieser Arbeitsplatz ist wegen seiner präzise auszuführenden Tätigkeiten als Sitzarbeitsplatz ausgeführt. Um die beim Löten entstehenden Dämpfe zu beseitigen, besitzt die Lötstation eine Absaugeinrichtung. Nachdem die Lötarbeiten sowie die Klebearbeiten ausgeführt sind, wird der Werkstückträger weitergeschickt. Die restlichen Arbeitsschritte werden am Arbeitsplatz 5 ausgeführt.

3.3.8.5 Ausgangsprüfplatz (Arbeitsplatz 5)

Auf den vom Arbeitsplatz 4 ankommenden Werkstückträgern verbindet der Mitarbeiter das Erdungskabel mit der Schaltung und schraubt dann die beiden Gehäuseteile mit dem Druckluftschrauber zusammen. Danach nimmt er das Produkt sowie den Batteriefachdeckel vom Werkstückträger und unterzieht das Produkt einer Endkontrolle. Hierbei wird überprüft, ob das „Touch Me“ eine Entladung des Mitarbeiters durchführt.

Werden bei der Endkontrolle keine Mängel festgestellt, dann wird das „Touch Me“ mit dem Produktnamen und der Bedienungsanleitung beklebt. Dieser Arbeitsschritt bestätigt, im Sinne eines Endkontrollstempels, die Funktionsfähigkeit des „Touch Me“. Anschließend wird das Produkt versandfertig verpackt und auf dem Bereitstellwagen in einem Behälter abgelegt.

3.3.8.6 Systemeinführung und Betrieb der Demontage-/Remontageanlage

Die komplette Demontage-/Remontageanlage wurde in der Modellfabrik des IAT aufgebaut. Anschließend erfolgte die erfolgreiche Inbetriebnahme und der Testbetrieb der Anlage. In Bild 3.3-19 wird ein Überblick über die komplette Demontage-/Remontageanlage gegeben.

Die in den vorherigen Kapiteln entwickelte und beschriebene Vorgehensweise zur Demontagesystemplanung wurde im Rahmen der Planung und Realisierung der De-/Remontageanlage für Kartenprüfgeräten/Touch-Me in der Modellfabrik des IAT erfolgreich überprüft und evaluiert.

Bild 3.3-19: Überblick über die komplette Demontage-/Remontageanlage

3.3.9 Literaturverzeichnis zu Kapitel 3.3

Auch, M. (1985): Menschengerechte Arbeitsplätze sind wirtschaftlich. Wirtschaftlichkeitsvergleich und Arbeitssystemwertermittlung - ein erweitertes Bewertungsverfahren. Bonn, Eschborn: RKW.

Bender, M. (1997): Technologietransfer mit modernster Ausrüstung. In Technische Rundschau 89, Nr. 14, S. 16-18.

Bullinger, H.-J. (1995): Arbeitsgestaltung: Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme. Stuttgart: Teubner-Verlag.

DELTA Industrie Informatik GmbH, Fellbach (1997): Basis-Handbuch ERGOMAS, Version 4.0.

Grieger, Sven; Menrad, Wolfram; Schlögl, Markus (1999): Aspects of industrial Recycling of electr(on)ic appliances. In: Second International Seminar on Re-use, Eindhoven, March 1-3 1999 / S. D. P. Flapper / A. J. de Ron (Hrsg.). Eindhoven University of Technology, S. 81-90.

Kaufmann, Matthäus (1999): Planung und Realisierung einer kombinierten Demontage-/Remontage-Anlage. Studienarbeit am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) an der Universität Stuttgart.

Lentes, H.-P.; Bender, M.; Rieth, D. (1992): Gestaltung und Beurteilung flexibler Montagesysteme, Seminarunterlagen, Technische Akademie Esslingen.

Menrad, Wolfram; Schlögl, Markus (1999a): Der ideale Verwertungsbetrieb. In: Umweltmagazin (28) April 1999, S. 42-43.

Menrad, Wolfram; Schlögl, Markus (1999b): Konzeption und Realisierung von industriellen Verwertungsbetrieben für Elektronikaltgeräte: Ergebnisse des IREAK-Forschungsvorhabens. In: Entsorgungspraxis (17) Oktober 1999, S. 15-18.

Steinhilper, Rolf (1999): Produktrecycling – Vielfachnutzen durch Mehrfachnutzung. Stuttgart: IRB-Verlag.

Warnecke, H.J. (1984): Der Produktionsbetrieb: Industriebetriebslehre für Ingenieure. Berlin, u.a.: Springer-Verlag.

3.4 Entscheidungsgrundlagen und Realisierungsbeispiele für den Modulbaukasten

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse entstanden in enger Zusammenarbeit mit folgenden Teilprojekten:

TV 6: Entwicklung von demontagerelevanten Arbeitssystemen und deren Subsysteme (verantwortlich: G.W. Sohlberg GmbH);

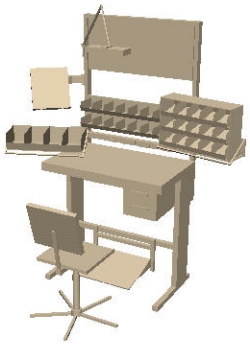
TV 8: Demontageplanung/Demontagesystemplanung und intranetbasierte Informationsunterstützung (verantwortlich: IAT Institut Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement Universität Stuttgart)

3.4.1 Entscheidungsgrundlagen

3.4.1.1 Beschreibung der Module

Im folgenden werden die in Bild 3.3-7 kurz vorgestellten Module des Modulbaukastens mittels grafischer Darstellung, Kurzbeschreibung, Kennzahlen und Einsatzkriterien näher detailliert.

Bild 3.4-1 zeigt das **Einzeltisch-Modul**, das im Ausgangs-Zustand in allen Verwertungsbetrieben zum Einsatz kommt. Es zeichnet sich durch seine Universalität, hohe Flexibilität und geringen Investitionsbedarf aus und eignet sich insbesondere für nicht arbeitsteilige Tätigkeiten (z.B. Komplettzerlegung). Nachteilig hingegen wirkt sich der hohe Handlingsaufwand bei der Produkthandhabung und dem Abtransport der Materialfraktionen aus.



Kurzbeschreibung
- Anlieferung der Produkte in Gitterboxen an den Arbeitsplatz
- Demonteur holt sich die Produkte manuell auf den Arbeitstisch
- Arbeitsfläche ist höhenverstell- und neigbar (mech. bzw. elektr.)
- Arbeitsplatz ist ausgestattet mit: Arbeitsstuhl, Beleuchtung, Ablage-/Aufhängmöglichkeiten für Betriebsmittel und Werkzeuge, schwenkbare Behälter für Kleinfraktionen und Fraktionswagen
- Abtransport und Wiegen der Fraktionen erfolgt durch Demonteur

Kennzahlen

• Investitionen:	5.300 DM	• Anzahl Arbeitsplätze:	1 AP
• Flächenbedarf:	30 m²	• Max. Produktgewicht:	offen
• Produktivität:	100 % (Basis)	• Max. Produktgröße:	offen
• Durchsatz:	116 to/a		

Einsatzkriterien
- Einzeltisch ist prinzipiell zur Demontage aller Geräteklassen und auch für das Produktrecycling geeignet („Universalarbeitsplatz" vgl. Ist-Zustand Verwertungsbetriebe)
- Sinnvoll bei unsicherem Mengen- und Produktaufkommen
- Hohe Flexibilität bei geringen Investitionen mit jedoch hohem, manuellem Handlingsaufwand

Bild 3.4-1: Einzeltisch-Modul

Der **Mobile Arbeitsplatz** (Bild 3.4-2) hingegen ist ein Spezialarbeitsplatz für große, schwere und sperrige Produkte. Hier wird nicht das Produkt zum Arbeitsplatz transportiert, sondern der Arbeitsplatz

kommt zum Produkt. Ausgestattet mit Beleuchtung, Ablagemöglichkeiten für Werkzeuge und Betriebsmittel, Druckluftkompressor, Kran mit Hebezeug sowie Ablagebehälter für Kleinfraktionen benötigt dieses Modul am jeweiligen Demontageort nur die Bereitstellung von elektrischer Energie und ist sofort einsatzbereit.

Kurzbeschreibung
- Mobiler Arbeitsplatz wird zum zu demontierenden Produkt transportiert (Baustellendemontage)
- Arbeitsplatz ist ausgestattet mit: Beleuchtung, Ablage-/Aufhängmöglichkeiten für Betriebsmittel und Werkzeuge, Druckluftkompressor, Kran mit Hebezeug, Ablagebehälter für Kleinfraktionen und Fraktionswagen bzw. Gitterboxen für Massenfraktionen
- Abtransport und Wiegen der Fraktionen erfolgt durch Demonteur

Kennzahlen

• Investitionen:	10 TDM	• Anzahl Arbeitsplätze:	1 AP
• Flächenbedarf:	40 m²	• Max. Produktgewicht:	offen
• Produktivität:	+3 - 6 %	• Max. Produktgröße:	offen
• Durchsatz:	153 to/a		

Einsatzkriterien
- Spezialarbeitsplatz zur Demontage von Größgeräten (Schaltschränke, Computertomographen, Bestückungsautomaten usw.)
- Sinnvoll bei hohem Anteil von Großgeräten
- Hohe Flexibilität bei geringen Investitionen mit jedoch hohem, manuellem Handlingsaufwand

Bild 3.4-2: Mobiler Arbeitsplatz

Das **Scherenhubtisch-Modul** (Bild 3.4-3) zeichnet sich durch die ergonomische Demontagemöglichkeit von sperrigen Mittelgeräten (z.B. Kopierern) mittels dreh- und höhenverstellbarer Scherenhubtischplattform aus. Die Plattform lässt sich hierbei soweit absenken, dass eine problemlose Beschickung mit Euro-Paletten und Handhubwagen möglich ist.

Beladung des abgesenkten Scherenhubtisches

Ergonomische Demontage am dreh- und höhenverstellbaren Scherenhubtisch

Kurzbeschreibung
- Anlieferung der Produkte auf Euro-Paletten
- Beschickung des abgesenkten Scherenhubtischs über Auffahrrampe und Handhubwagen
- Produkt mittels Scherenhubtisch in Arbeitsposition bringen
- Arbeitsplatz ist ausgestattet mit: Ablage-/Aufhängmöglichkeiten für Betriebsmittel und Werkzeuge, Fraktionswagen
- Abtransport und Wiegen der Fraktionen erfolgt durch Demonteur

Kennzahlen

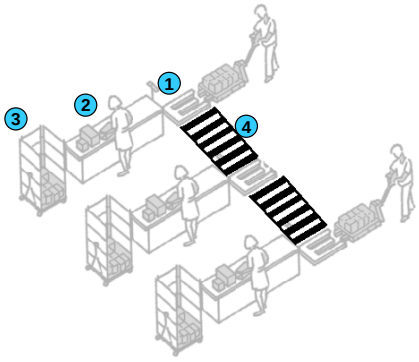
• Investitionen:	13 TDM	• Anzahl Arbeitsplätze:	1 (2) AP´s
• Flächenbedarf:	35 m²	• Max. Produktgewicht:	300 kg
• Produktivität:	+3 - 6 %	• Max. Produktgröße:	1,2 x 0,8 m
• Durchsatz:	159 to/a		

Einsatzkriterien
- Ergonomische Demontage von Mittelgeräten durch Dreh- und Höhenverstellbarkeit der Scherenhubtischplattform
- Geeignet für sperrige Mittelgeräte (Kopierer) die wieder- oder weiterverwendbare Baugruppen enthalten
- Grobfraktionierung auf Scherenhubtisch
- Feinfrakt., Reparatur usw. auf beigestelltem „Einzeltisch-Modul"

Bild 3.4-3: Scherenhubtisch-Modul

Das in Bild 3.4-4 skizzierte **Linien-Modul 1** besteht aus drei über Rollenbahnen miteinander verketteten Scherenhubtisch-Modulen sowie drei Einzeltisch-Modulen. Die Produkte werden an drei Stationen arbeitsteilig grob- und feinfraktioniert, wobei die insgesamt 6 Ar-

beitsplätze wahlweise mit 3 oder 6 Mitarbeitern besetzt werden können. Die Entkopplung der Arbeitsplätze erfolgt über die dazwischen liegenden Rollenbahnen, hier können maximal drei Euro-Paletten und damit Produkte gepuffert werden.



Legende:
1 Scherenhubtisch (Grobfrakt.)
2 Arbeitstisch (Feinfraktionier.)
3 Fraktionenwagen
4 Rollenbahn

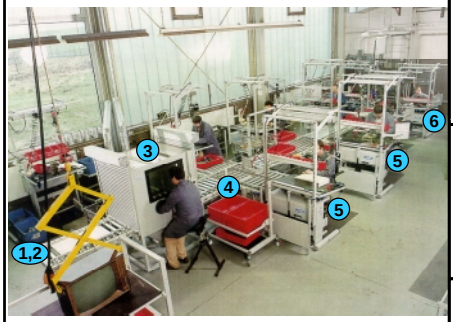
Kurzbeschreibung
- Linien-Modul 1 besteht aus 3 miteinander verketteten Scherenhubtisch-Moduln, die wiederum aus dem Scherenhubtisch (1), dem Einzeltisch-Modul (2) und dem Fraktionswagen (3) bestehen
- Das Produkt wird arbeitsteilig an den 3 Stationen grob- und feinfraktioniert
- Abtransport und Wiegen der Fraktionen erfolgt durch die Demonteure

Kennzahlen
- Investitionen: 72 TDM
- Flächenbedarf: 80 m²
- Produktivität: +8 - 12 %
- Durchsatz: 503 to/a
- Anzahl Arbeitsplätze: 3 (6) AP´s
- Max. Produktgewicht: 300 kg
- Max. Produktgröße: 1,2 x 0,8 m

Einsatzkriterien
- Ergonomische Demontage durch Dreh- und Höhenverstellbarkeit der Scherenhubtischplattformen
- Geeignet für größere Mengen sperriger Mittelgeräte (Kopierer) die wieder- oder weiterverwendbare Baugruppen enthalten
- Grobfraktionierung auf Scherenhubtisch
- Feinfraktionierung auf beigestelltem „Einzeltisch-Modul“

Bild 3.4-4: Linien-Modul 1

Im **Linien-Modul 2** (Bild 3.4-5) sind die Arbeitsplätze über nicht angetriebene Rollenbahnen miteinander verkettet. Die im Nebenschluss angeordneten Arbeitsplätze erlauben eine Komplett- oder arbeitsteilige Zerlegung der Produkte. Besonders hervorzuheben ist der zentrale Bildschirmbelüftungs- und Reinigungsplatz sowie der Abtransport voluminöser Teile über ein Flachgurtband, welches unterhalb der Rollenbahnen angeordnet ist.



Legende:
1 Hebehilfe
2 Aufgabeplatz
3 Reinigungs-/Absaugplatz
4 Rollenbahn/Kugeltische
5 Arbeitsplätze für Demontage oder Produktrecycling
6 Sortierarbeitsplatz

Kurzbeschreibung
- Vorsortierung der Produkte an zentralem Aufgabeplatz (2)
- Bildschirmbelüftung und Reinigung am Reinigungsarbeitsplatz (3)
- Manuelles Weiterschieben der Geräte auf Werkstückträgern (4)
- Komplett- oder arbeitsteilige Zerlegung der Geräte an den Demontagearbeitsplätzen möglich (5)
- Abtransport voluminöser Teile über Flachgurtband zu Sortierplatz

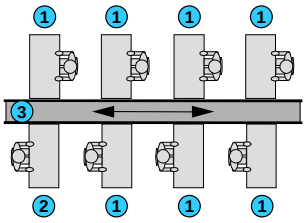
Kennzahlen
- Investitionen: 107 TDM
- Flächenbedarf: 180 m²
- Produktivität: +12-17 %
- Durchsatz: 1050 to/a
- Anzahl Arbeitsplätze: 8 AP´s
- Max. Produktgewicht: 75 kg
- Max. Produktgröße: 0,6 x 0,8 m

Einsatzkriterien
- Modularer Aufbau und damit gute Erweiterbarkeit der Anlage
- Geeignet für größere Mengen Kleingeräte mit Produktrecyclingoption
- Verbessertes Arbeitsumfeld (kein manuelles Heben, gereinigte Produkte, ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze)
- Verringerter Transport- und Handlingsaufwand

Bild 3.4-5: Linien-Modul 2

Das **Sortier-Modul** in Bild 3.4-6 besteht aus Einzeltisch-Modulen, die mittels eines starr verketteten Umlaufsystems mit Produkten versorgt werden. Diese Konstellation eignet sich besonders dann, wenn Mix-

Chargen angeliefert werden und eine Spezialisierung der einzelnen Demontagearbeitsplätze auf bestimmte Produkte sinnvoll ist. Wahlweise kann über das Umlaufsystem auch der Abtransport von Fraktionen erfolgen.



Legende:

1 Demontageplätze für Kleingeräte-Mix
2 Aufgabe-/Abnahmeplatz
3 Fördersystem mit starr verketteten, umlaufenden Werkstückaufnahmen

Kurzbeschreibung

- Spezialisierung der Demontageplätze (1) auf bestimmte Produkte
- Aufgabe des angelieferten Produktmix an zentr. Aufgabeplatz (2)
- Transport der Produkte mit starr verkettetem Umlaufsystem (3)
- Manuelle Entnahme der Produkte am zugeordneten Demont.platz
- Ausstattung der Demontageplätze s. Modul „Einzeltisch“
- Fraktionenabtransport mittels Fraktionenwagen oder starr verkettetem Umlaufsystem zum Abnahmeplatz (2)

Kennzahlen

- Investitionen: 67 TDM
- Flächenbedarf: 200 m²
- Produktivität: +5 - 9 %
- Durchsatz: 860 to/a
- Anzahl Arbeitsplätze: 8 AP´s
- Max. Produktgewicht: 50 kg
- Max. Produktgröße: 0,6 x 0,4 m

Einsatzkriterien

- Einsatz als Verteiler-(Sortier-)system oder als Umlaufpuffer
- Abtransport Hauptfraktionen über gleiches System möglich
- Ideal geeignet für Kleingeräte-Mixchargen
- Hohe Betriebssicherheit, auch für rauhen Betrieb geeignet
- Erweiterbarkeit des Systems nur bedingt möglich

Bild 3.4-6: Sortier-Modul

Das in Bild 3.4-7 dargestellte **Multifunktions-Modul** besteht aus den Anlagenteilen:

- Mittelgeräteumlauf (Materialrecycling),
- Kleingeräteumlauf (Produktrecycling) und
- Sortierung/Abtransport.

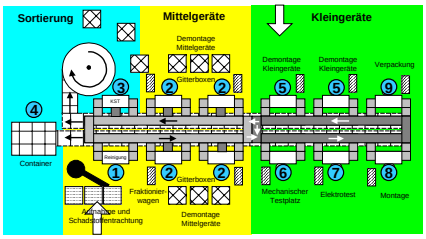
Alle Anlagenteile bestehen aus einem modularen Transfersystem mit im Nebenschluss angeordneten Arbeitsplätzen. Der Materialfluss im Transfersystem erfolgt über Rollenbänder und codierbare Werkstückträger. Die Werkstückträgergröße beträgt 600 x 800 mm.

Der Mittelgeräteumlauf besteht aus einem Aufnahmeplatz und 4 Universalarbeitsplätzen, an denen Mittelgeräte (z.B. Kopierer, Monitore) komplett demontiert werden, falls kein Produktrecycling möglich ist, oder gezielt Baugruppen ausgebaut werden, die dann dem Produktrecycling zugeführt werden. Vor der Demontage findet am Aufnahmeplatz neben der Produktidentifikation eine Reinigung der Produkte statt.

Im Anlagenteil Kleingeräteumlauf werden demontierte Baugruppen aus Mittelgeräten sowie kleine Produkte geprüft (mechanisch und elektrisch), aufgearbeitet und verpackt. Falls eine Aufarbeitung nicht möglich ist, erfolgt eine Demontage in die Einzelfraktionen. Der Kleingeräteumlauf besteht aus zwei Aufnahme-/Demontageplätzen und 4 Universalarbeitsplätzen an denen Kleingeräte mechanisch und elektrisch geprüft sowie remontiert und verpackt werden können. Bei Be-

darf müssen die 4 Universalarbeitsplätze auch Demontageaufgaben übernehmen können.

Der Anlagenteil Sortierung/Abtransport besteht aus zwei Flachgurtbändern, die sich unterhalb der gesamten Demontageanlage befinden und die über Abwurfschächte an den jeweiligen Arbeitsplätzen beschickt werden können, sowie einem Sortierarbeitsplatz für Mischfraktionen (z.B. Kunststoff). Mit dem ersten Flachgurtband wird eine Massenfraktion (z.B. Eisen) direkt in den Sammelcontainer transportiert; mit dem zweiten Band werden Mischfraktionen an den Drehteller (Sortierarbeitsplatz) angeliefert. Am Drehteller erfolgt die Sortierung manuell.



Legende:

1 Aufgabe-/Reinigungsplatz
2 Demontageplatz (Mittelgeräte)
3 Kunststoffsortierplatz
4 Abtransport Massenfraktion
5 Demontageplatz (Kleingeräte)
6 Mechanik-Prüfplatz
7 Elektro-Prüfplatz
8 Remontageplatz
9 Verpackplatz

Kurzbeschreibung

- Flexibles Werkstückträgersystem mit voneinander entkoppelten Arbeitsplätzen und Puffermöglichkeiten im Hauptfluß
- Mittelgeräte durchlaufen den Aufgabe-/Reinigungsplatz (1) und die Komplett-Demontageplätze (2), wiederverwendbare Baugruppen bzw. Kleingeräte laufen über die Plätze (5), (6), (7), (8), (9)
- Die Stationen (3) und (4) werden über Förderbänder von allen anderen Stationen mit den anfallenden Massenfraktionen versorgt

Kennzahlen

- Investitionen: 778 TDM
- Flächenbedarf: 330 m²
- Produktivität: +12 - 20 %
- Durchsatz: 1596 to/a
- Anzahl Arbeitsplätze: 11 AP´s
- Max. Produktgewicht: 75 kg
- Max. Produktgröße: 0,8 x 0,6 m

Einsatzkriterien

- Modularer Aufbau und damit sehr gute Erweiterbarkeit der Anlage
- Geeignet für sehr große Mengen (ev. vorsortierter) Klein- und Mittelgeräte (bis 75 kg) mit Produktrecyclingoption
- Verbessertes Arbeitsumfeld (kein manuelles Heben, gereinigte Produkte, ergonomisch gestaltete und entkoppelte Arbeitsplätze)
- Verringerter Transport- und Handlingsaufwand

Bild 3.4-7: Multifunktions-Modul

Wesentlicher Nachteil dieses hier beschriebenen, hoch flexiblen Multifunktions-Moduls ist der, im Vergleich zu den anderen Modulen, sehr hohen Investitionsaufwand, der nur dann gerechtfertigt werden kann, wenn ein bedeutender Anteil von Produkten mit Produktrecycling-Option über diese Anlage läuft.

Abschließend werden in Bild 3.4-8 die Service-Module **Wiege-Modul**, **Kunststoffprüf-Modul** und **Stapler** beschrieben, die zum Betreiben eines vollständigen Verwertungsbetriebs unabdingbar sind.

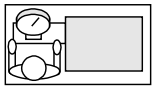
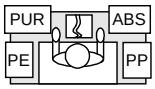
Wiege-Modul 	**Kurzbeschreibung** • Wiege-Modul dient der Erstellung von Verwertungsnachweisen und besteht aus einer verfahrbaren Palettenwaage mit Anzeigegerät und Drucker **Kennzahlen** • Investitionen: 7.800 DM • Wägebereich: 10 - 1500 kg • Flächenbedarf: 30 m² • Max. Produktgröße: 1,3 x 0,9 m
Kunststoffprüf-Modul 	**Kurzbeschreibung** • Modul dient der Bestimmung sowie Erkennung einzelner Kunststoffarten und besteht aus einem einfach ausgestatteten Einzeltischmodul (Kosten für Prüf- und Testgeräte nicht in Invest. enth.) **Kennzahlen** • Investitionen: 3.000 DM • Anzahl Arbeitsplätze: 1 AP • Flächenbedarf: 30 m² • Max. Produktgewicht: k.A
Stapler 	**Kurzbeschreibung** • Mit dem Stapler werden alle anfallenden innerbetrieblichen Transporte wie An- und Abtransport von Produkten bzw. Fraktionen durchgeführt **Kennzahlen** • Investitionen: 25 TDM • Anzahl Arbeitsplätze: 1 AP • Flächenbedarf: k.A • Max. Produktgewicht: 2 to

Bild 3.4-8: Service-Module

3.4.1.2 Kennzahlenermittlung

Die in Bild 3.4-1 bis Bild 3.4-8 enthaltenen Kennzahlen für Investitionen, Flächenbedarf, Produktivität, usw. der einzelnen Module stellen wesentliche Auswahlkriterien bei der Erstellung von Strategie-Alternativen dar. Ihre Ermittlung ist nachstehend dokumentiert.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Module stellt die Basis für die Bestimmung der **Investitionen** dar. Anhand einer, dieser Beschreibung entnommenen Auflistung aller pro Modul benötigten Arbeitssystemelemente und der zugehörigen Einzelpreise pro Arbeitssystemelement (Basis: Einzelpreise GWS) wurden die Investitionen pro Modul bestimmt. Das ebenfalls in der Beschreibung enthaltene Groblayout der Module liefert den **Flächenbedarf** pro Modul. In diesem Flächenbedarf sind anteilig Verkehrs- und Bereitstellflächen enthalten.

Die **Produktivität** bei den einzelnen Modulen gibt den Wert an, um den die Module in Bezug auf einen Ist-Zustand (mit entsprechender Anzahl von Arbeitsplätzen an Einzeltischen) eine höhere Ausbringung haben. Die Produktivitätssteigerung der einzelnen Module wurde im Expertenkreis abgeschätzt. Die Expertenschätzung wurde gewählt, da sie sich zum einen bei der Montagesystemplanung bewährt hat und dort mit relativ geringem Aufwand annehmbare Werte liefert und zum anderen der mit einer detaillierten Zeitaufnahme (MTM, REFA) verbundene Aufwand als zu groß eingeschätzt wurde. Bei der Schätzung wurde davon ausgegangen, dass nur geeignete Produktgruppen (vgl. Kap. 3.3.3 und 3.3.5) auf den einzelnen Modulen demontiert werden (z.B. werden auf dem mobilen Arbeitsplatz nur Großgeräte, aber keine Kleingeräte demontiert). Um die bei jeder Schätzung vorhandenen Ungenauigkeiten zu berücksichtigen, wurde für die Produktivität durch Abschätzung eines pessimistischen und eines optimistischen Wertes ein Wertebereich bestimmt. Der erwartete Produktivitätszuwachs der

einzelnen Module basiert dabei auf zwei Effekten. Zum einen kann der indirekte Zeitanteil bei der Zerlegezeit verringert (z.B. durch Verringerung des Handlingaufwands) und damit der direkte Anteil erhöht werden, zum anderen kann der Leistungsgrad innerhalb der direkten Zerlegezeit erhöht werden (z.B. Lernkurve, ergonomische Arbeitsplätze).

Beim **Durchsatz** handelt es sich um die Menge an Teilen [to/a], die an den Modulen pro Jahr demontiert werden können. Der Durchsatz der einzelnen Module basiert auf dem Mittelwert der Produktivität. Zu beachten ist, dass beim Durchsatz des Einzeltischmoduls davon ausgegangen wurde, dass ein anteiliger Produktmix aus Kleingeräten (mit Produktrecycling), Mittelgeräten und Großgeräten an diesem Arbeitsplatz demontiert wird (Ist-Zustand). Würde für das Einzeltischmodul der Durchsatz für einzelne Produktgruppen angegeben (wie er bei der Produktivitätsbetrachtung der anderen Module berücksichtigt wurde), so würde dieser bei Groß- und Mittelgeräten oberhalb, bei Kleingeräten (mit Produktrecycling) unterhalb der 116 to/a liegen.

Die Kennzahlen für die **Anzahl der Arbeitsplätze**, das **maximale Produktgewicht** und die **maximale Produktgröße** stellen Richtwerte dar, die sich aus der Auslegung und der Struktur der Module ergeben.

3.4.2 Realisierungsbeispiele

In diesem Kapitel werden die im Rahmen des IREAK-Projekts prototypisch realisierten Module dokumentiert.

3.4.2.1 Modul: Optimierter Einzeltisch

Die Arbeitsplätze zur Zerlegung und Fraktionierung von Elektronikschrott bis zu einem Stückgewicht von ca. 70 kg standen im Zentrum der Überlegungen bei der Entwicklung optimierter Demontagesysteme, da der Hauptanteil der wertschöpfenden Tätigkeiten in Verwertungsbetrieben an solchen Arbeitsplätzen erzielt wird (Bild 3.4-9).

Die auf der Grundlage der Ergebnisse der Voruntersuchungen entwickelten Arbeitstische wurden als robuste, lackierte Stahlkonstruktion konzipiert. Die motorische Höhenverstellbarkeit und motorisch beidseitige Neigbarkeit der Tischplatte dieser Variante gewährleistet für jede Arbeitsphase die richtige Arbeitshöhe und -stellung (Bild 3.4-10).

Bild 3.4-9: Einfachst-Einzeltisch (Negativbeispiel)

Bild 3.4-10: Optimierter Einzeltisch

Insbesondere durch die inverse Neigungsverstellung ist eine gute Zugänglichkeit der Geräte gegeben und das Eintreten von Haltungsschäden ausgeschlossen. Die Arbeitsplätze können als Steh- und Sitzarbeitsplatz genutzt werden (Bild 3.4-10).

An der Tischrückseite sind Rasterrohrelemente befestigt, welche das Anbringen von verschiedensten Aufhänge-, Ablage- und Bereitstellmittel in der gewünschten Höhe und im ergonomischen Greifbereich ermöglichen. Zur übersichtlichen und geordneten Werkzeugbereitstellung dient eine seitlich am Rasterrohr befestigte, schwenkbare Werkzeughalterung und eine Lochplatte mit entsprechenden Werkzeughaken.

Die Arbeitsplätze sind außerdem mit einer Aufhängung für Druckluftwerkzeuge und einer Beleuchtung ausgestattet. Das Nachrüsten wei-

terer Arbeitsmittel ist problemlos möglich. Grundsätzlich sind alle Arbeitstische untereinander kompatibel.

Zusätzlich kann der Demontagearbeitsplatz zum Schadstoffarbeitsplatz erweitert werden, indem er mit den nachfolgenden Komponenten ergänzt wird:

- auf die Tischplatte aufgesetzte Edelstahlwanne, komplett umlaufende, erhöhte, geschlossene Kanten
- Quecksilber-Absorptionsset (Bereitstellung von Spezial-Absorptions-Hilfsmitteln (Notfallkoffer) zum Entsorgen von Gefahrstoffen wie Quecksilber, Säuren, sonstigen Flüssigchemikalien)
- Verhaltens- und Anwendungshinweise am Arbeitsplatz.

Zusätzlich gehört zu einem Demontagearbeitsplatz ein Fraktionenwagen für die sortenreine Ablage und den Transport der fraktionierten Bauteile (Bild 3.4-11). Diese besitzen das gleiche Rasterrohrgestell wie die Arbeitstische. Durch diese Kompatibilität können die Zubehörteile wahlweise am Arbeitsplatz oder am Fraktionenwagen eingehängt werden. Der Fraktionenwagen ist mit verschiedenen Größen von Kunststoffkästen und neigbaren Regalböden ausgestattet.

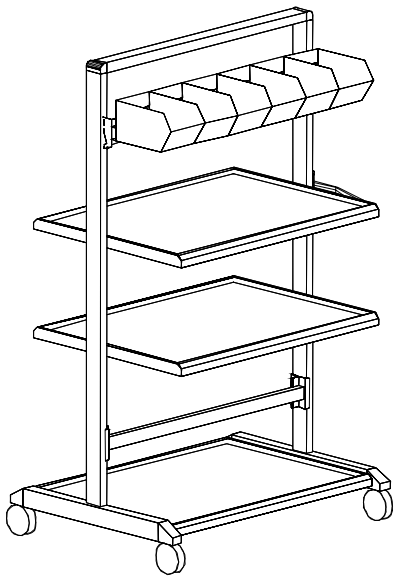


Bild 3.4-11: Fraktionenwagen

3.4.2.2 Modul: Mobiler Arbeitsplatz

Der mobile Zerlegearbeitsplatz ist für die Demontage und Fraktionierung von Großgeräten bis zu einem Maximalgewicht von ca. 5 t konzipiert. Er findet Einsatz bei Altgeräten, deren Transport nur mit größerer Hebetechnik erfolgen kann.

Hauptbestandteil dieses Arbeitsplatzes ist ein mobiles Einträger-Portalkransystem (Spannweite 6 m), das mit einem Elektrokettenzug

(Traglast 1 t) ausgestattet ist. Die Rollen des Portalkrans sind arretierbar gestaltet. Zusätzlich sind am Portalkran diverse Leuchten zur Ausleuchtung des gesamten Arbeitsraumes, Ablagen für Fraktionierbehälter und Aufhängungsmöglichkeiten für Werkzeuge nahe dem eigentlichen Arbeitsraum des Mitarbeiters installiert (Bild 3.4-12).

Aufgrund der Größe und des Gewichtes des an diesem Arbeitsplatz zu zerlegenden Elektronikschrottes ist es sinnvoll, den Arbeitsplatz zum Zerlegegut zu transportieren. Dabei wird der Portalkran manuell über den zu zerlegenden Bereich des Altgerätes geschoben.

Bild 3.4-12: Mobiler Arbeitsplatz

Die Demontage von größeren Baugruppen wird durch die Zuhilfenahme des Elektrokettenzuges vereinfacht. Anschließend können größere Baugruppen aus dem Gesamtgerät entnommen werden, um sie dann weiter zu zerlegen. Zur Ablage der Fraktionen dienen ein bereitstehender Fraktionenwagen oder bereitstehende Gitterboxen.

3.4.2.3 Scherenhubtisch-Modul

Altgeräte mittlerer Größe bis 300 kg werden auf Euro-Paletten (1200 x 800 mm) angeliefert. Zur Zerlegung werden die Geräte über die Anfahrrampe auf den Scherenhubtisch gefahren. Die Altgeräte verbleiben während der gesamten Zerlegung auf den Euro-Paletten; ein Umlagern bzw. Umstapeln entfällt (Bild 3.4-13).

Die Altgeräte können nun durch Betätigen der Steuerung des Scherenhubtisches in die jeweils erforderliche, ergonomisch günstige Demontagehöhe gefahren werden. Falls erforderlich kann mittels der Drehscheibe auf dem Scherenhubtisch die Lage des Zerlegegutes verändert werden, so dass die Zerlegung erleichtert wird. Die Drehscheibe ist in jeder Lage manuell arretierbar, so dass während der Zerlegung das Altgerät fest steht.

Ein Umlaufen des Altgerätes durch den Mitarbeiter zur Zerlegung entfällt, so dass die Anordnung der Werkzeuge und der Ablagen für Fraktionen zur Arbeitsposition des Mitarbeiters deutlich verbessert wird.

Die anfallenden Fraktionen werden in die direkt am Arbeitsplatz bereitstehenden Gitterboxen einsortiert. Einzelteile und Komponenten, die entsprechend ihrer Eignung einer Wiederaufarbeitung zugeführt werden sollen, werden auf dem bereitstehenden Fraktionenwagen gesondert abgelegt.

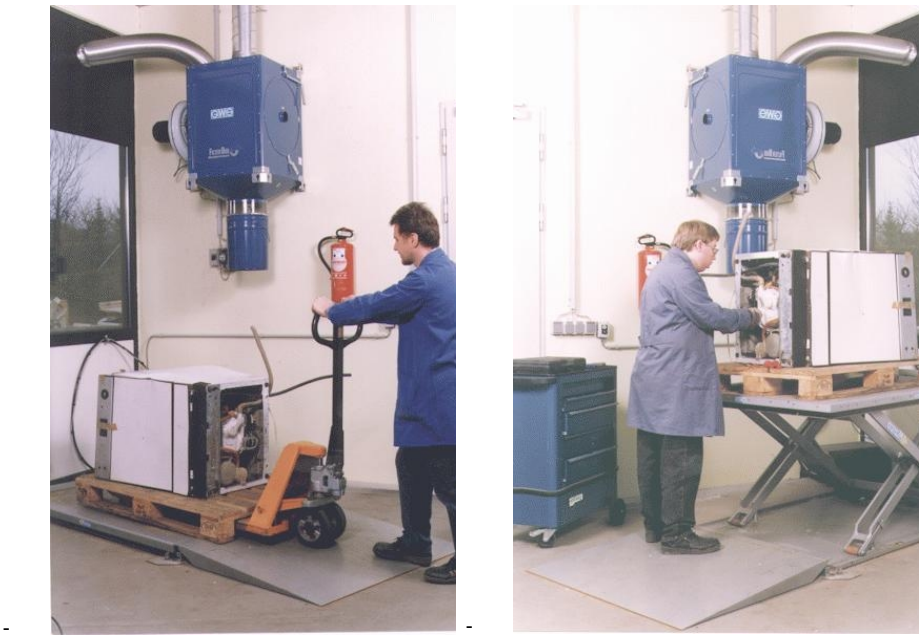


Bild 3.4-13: Scherenhubtisch-Modul

3.4.2.4 Linien-Modul

Das Linien-Modul ist so konzipiert, dass verschiedene Funktionseinheiten für die Ausführung der gesamten Arbeitsaufgabe integriert werden und eine arbeitsteilige Bearbeitung (sinnvoll für Kleingeräte bis 50 kg) erfolgt. Die Funktionseinheiten sind durch eine dreistöckige Transferstrecke miteinander verbunden, wobei die obere Strecke (freilaufende Rollenbahn) der Bereitstellung der Zerlegeaufträge an den Arbeitsplätzen dient. Die mittlere Strecke (freilaufende Röllchenbahn) wird zum Rücktransfer der leeren Werkstückträger benötigt. Die untere Strecke (angetriebenes Flachgurtband) dient der Sammlung und zentralen Zuführung der Fraktionen zur Sortierung (Bild 3.4-14).

Der Gesamtablauf beginnt zunächst an der ersten Position, dem Aufgabeplatz. Eine erste Vorsortierung der Inhalte der ankommenden Gitterboxen sowie die Schadstoffentfrachtung der Produkte finden hier statt. Des weiteren werden am Aufgabeplatz einige kleine Vordemon-

tagen durchgeführt, die die Tätigkeit am darauffolgenden Reinigungsarbeitsplatz erleichtern (z. B. Netzkabel entfernen, Gehäuseteile bzw. Abdeckungen demontieren).

Bild 3.4-14: Linien-Modul (Gesamtüberblick)

Die Geräte, die einer weiteren Zerlegung zugeführt werden sollen, werden auf einen bereitstehenden Werkstückträger platziert und manuell über die Rollenbahn in Richtung Reinigungsarbeitsplatz geschoben. Ein Mitarbeiter ist für die Ausführung der Tätigkeiten am Reinigungsarbeitsplatz zuständig. Nach der Reinigung bzw. der Belüftung der Bildröhren von Bildschirmgeräten werden die Geräte zu den Demontagearbeitsplätzen durch Weiterschieben der Werkstückträger über die Rollenbahn transportiert.

Die Rollenbahn übernimmt sowohl den Transport als auch die Zwischenpufferung von Zerlegeaufträgen vor den Demontageplätzen. Die Rollenbahn ermöglicht auch eine Aufteilung der Tätigkeiten auf die verschiedenen Arbeitsplätze (Artteilung). Die anfallenden, leeren Werkstückträger werden auf der untenliegenden Röllchenbahn abgelegt und gelangen mittels Schwerkraft wieder zurück bis zum Reinigungsplatz / Aufgabeplatz (Bild 3.4-15).

Die bei der Zerlegung anfallenden Fraktionen werden nach Abwurf über Zuführbleche auf einem angetriebenen Flachgurtband gesammelt und zu einem zentralen Sortierplatz transportiert. Lediglich zur Überprüfung bestimmte Kunststoff- und Sonderfraktionen werden auf bereitstehenden Fraktionenwagen oder in am Arbeitsplatz befindlichen Behältern gesammelt und nach Bedarf zum Kunststoffarbeitsplatz transportiert und geprüft. Am Sortierarbeitsplatz werden die ankommenden, zerlegten Bauteile in Fraktionen sortiert, wobei gleichzeitig eine Qualitätskontrolle durchgeführt wird.

Bild 3.4-15: Linien-Modul (An- und Abtransportbänder)

3.4.2.5 Sortier-Modul

Das Sortiermodul wurde bei der Firma Hetzel aufgebaut und getestet (Bild 3.4-16). Einsatz fand es beispielsweise bei der Zerlegung der Produktgruppe "Gitterbox-Mix", bei der die unterschiedlichsten Klein- und Haushaltsgeräte in einer Gitterbox angeliefert werden. Diese werden dann am Aufgabeplatz chaotisch in die kontinuierlich umlaufenden Fächer des Moduls eingelagert (Bild 3.4-17) und von dem auf die Zerlegung der jeweiligen Produktart (z.B. Kaffeemaschinen, Toaster, Telefone, Radiogeräte, usw.) spezialisierten Mitarbeiter wieder entnommen. Dieser zerlegt dann die Produkte komplett an seinem Arbeitsplatz in die jeweiligen Fraktionen.

Bild 3.4-16: Sortier-Modul

Bild 3.4-17: Sortier-Modul (Detail)

3.4.2.6 Multifunktions-Modul

Das Multifunktions-Modul stellt eine idealisierte, hoch technisierte Lösung einer Demontageanlage dar. In diese Anlage wurden sinnvoll erscheinende Teilkomponenten integriert, so dass der Anteil der wertschöpfenden Tätigkeiten am Gesamtumfang der den Mitarbeitern zur Verfügung stehenden Zeit maximiert wird. Transportoperationen werden von den Mitarbeitern nur noch in sehr geringem Umfang ausgeführt. Hauptsächlich erfolgen die Transfers durch angetriebene Transportstrecken. Grundsätzlich ähneln die Arbeitsprozeduren denen des Linien-Moduls. Es handelt sich beim Multifunktions-Modul um eine daraus hervorgegangene Weiterentwicklung (Bild 3.4-18, Bild 3.4-19).

Der Aufgabeplatz besitzt einen Scherenhubtisch, über den Altgeräte mittlerer Größe problemlos zerlegt werden können. Auf diesem Scherenhubtisch können zusätzlich Vorzerlegetätigkeiten für Kleingeräte ausgeführt werden, so dass auf die Demontageanlage beispielsweise nur vorzerlegte, kleinere Baugruppen eingeschleust werden müssen.

Die Tätigkeit am Reinigungsarbeitsplatz sowie an den Demontageplätzen wurde im Vorfeld bereits erörtert. Bei den verschiedenen Transferstrecken handelt es sich jedoch um angetriebene Lösungen, die modular integrierte Arbeitsplätze beliefern und entsorgen.

Jeder Arbeitsplatz beinhaltet, neben dem eigentlichen Platz auf dem gerade eine Zerlegung oder Bearbeitung stattfindet, einen oder mehrere Pufferplätze. Ist dieser Pufferplatz leer, wird vom System ein neuer Auftrag bereitgestellt. Es kommt also zu keiner Verzögerung der Bearbeitungen durch Verrichtung von Bereitstellungstätigkeiten usw..

Außerdem wurden alle Demontageplätze mit einer Höhenverstellung sowie einer Möglichkeit, den jeweiligen Werkstückträger drehen zu können, versehen. An den Demontagetischen wurden zwei verschie-

dene Einwurfschächte installiert, in die Eisenschrott und nicht weiterzuverwendender Kunststoff eingeworfen werden können. Diese Schächte führen zu den untenliegenden Flachgurtbändern und diese wiederum zu einem Drehtisch zur Kunststoffsortierung oder direkt zu einer Gitterbox.

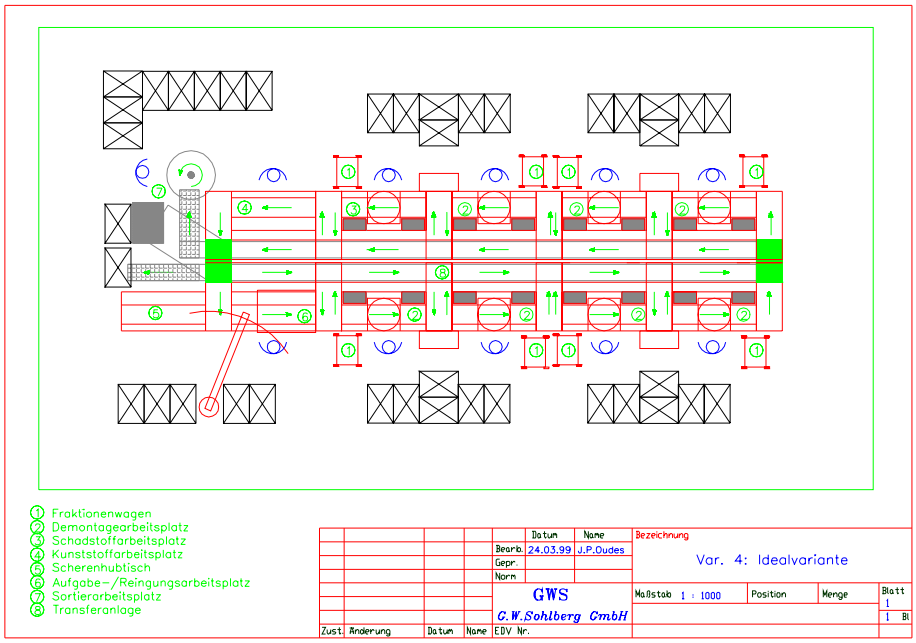


Bild 3.4-18: Multifunktions-Modul (Prinzipzeichnung)

Wieder- und weiterzuverwendender Kunststoff verbleibt nach der Zerlegung auf dem Werkstückträger und wird durch Nutzung der Verkettungsanlage dem Kunststoffarbeitsplatz zur Prüfung und Sortierung zugeleitet.

Bild 3.4-19: Multifunktions-Modul - Beispielanlage für Kleingeräte

An den Werkstückträgern sind Datenbegleitspeicher installiert. Wurden die Altgerätetypen an der Geräteaufgabe erkannt und zugeordnet, so können dem Mitarbeiter am Demontageplatz sofort Informationen über einen Monitor bereitgestellt werden. Ein weiterer Vorteil des Datenbegleitspeichers ist, dass die anfallenden Kunststoffteile auch nach der Zerlegung eindeutig ihrer Herkunft aus speziellen Altgeräten zugeordnet werden können. Eine Wieder- bzw. Weiterverwendung dieser Teile wird dadurch erleichtert. Auch ermöglichen die an den Werkstückträgern integrierten Datenbegleitspeicher eine gezielte Zuführung von aufzuarbeitenden oder zu prüfenden Baugruppen zu Spezialarbeitsplätzen. Räumliche Entfernungen bzw. technische Erfordernisse (Brandschutz, allgemeine Sauberkeit zur Schaffung von Prüfbedingungen) stellen keine Barrieren dar.

3.5 Informationstechnische Unterstützung zur Entwicklung industrieller Abläufe - (DEUS)

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse entstanden in enger Zusammenarbeit mit folgendem Teilprojekt:

TV 5: Informationstechnik und Informationsverarbeitung für industriell geprägte Verwertungssysteme (verantwortlich: EAI-DELTA GmbH)

3.5.1 Einführung

Das Informationsmanagement in einem Elektronikrecyclingbetrieb unterliegt dem gleichen Wandel wie das in allen anderen produzierenden Wirtschaftsbereichen mit immer schnelleren Warenumschlägen und verkürzten Innovationszyklen. Mit dieser Beschleunigung gehen die steigenden Anforderungen an ein effizientes Informationsmanagement in den Betrieben einher. Für den Bereich der Elektronikrecyclingbetriebe gilt dies um so mehr, als dort bis heute die Verarbeitung von Informationen noch nicht den Stellenwert einnimmt wie in anderen Wirtschaftsbereichen.

In IREAK wurde das Ziel verfolgt, mit neuen Methoden der Informationsverarbeitung diese Lücke für Elektonikrecyclingbetriebe (ERB) zu schließen. Insbesondere wird das Augenmerk bei diesem Projekt auf Offenheit und Benutzerfreundlichkeit der Software gelegt, da die Anwender derartiger Systeme aus heterogenen Benutzergruppen kommen und die Informationen, die verarbeitet werden, unterschiedlichste Ursprünge und Formate aufweisen.

Erster Schritt war die intensive Beschäftigung mit den Informationsflüssen in einem Elektronikrecyclingbetrieb. Diese wurden anhand des Beispielbetriebs Hetzel Elektronik-Recycling erfasst und strukturiert. Darauf aufbauend wurde ein den besonderen Gegebenheiten dieser Art von Betrieben angepasstes Softwaresystem konzipiert, welches die Menschen in einem ERB unterstützten soll, die immer schneller wachsende Informationsmenge zu beherrschen und produktiv einzusetzen.

Da die Informationen über Produkte, Baugruppen, Teile, Fraktionen, Stoffe und Verfahren leider nicht wie in einem produzierenden Betrieb eingeschränkt auf ein bestimmtes Produktportfolio existieren, sondern analog zu den Waren, die in einem ERB behandelt werden, in ihrer Art und Menge eher unstrukturiert und in unterschiedlichsten Formen vorliegenden, stellt diese Aufgabe eine besondere Herausforderung an die Zugänglichkeit und die Flexibilität der Software dar (Bild 3.5-1).

Dies bedeutet, dass ein Informationssystem für ERB's ein kostengünstiges und gleichzeitig flexibles System sein muss. EAI-DELTA begegnet diesen Anforderungen mit dem Einsatz von neuen Methoden aus

dem Bereich des Internet/Intranet in Verbindung mit bewährten Methoden der Datenverarbeitung wie relationalen Datenbanksystemen.

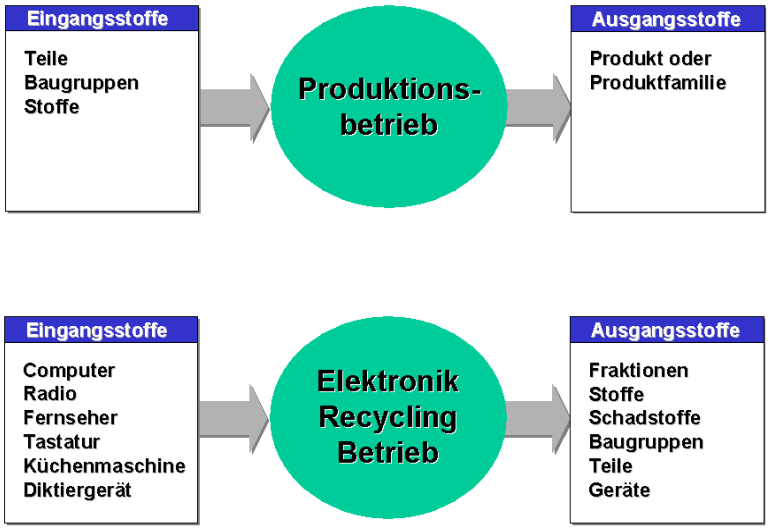


Bild 3.5-1: Stoffflüsse in Produktions- und Elektronikrecyclingbetrieb

3.5.2 Struktur eines Elektronik Recycling Betriebs (ERB)

Die derzeitige Organisationsstruktur eines mittelständigen ERB besteht in ihren Hauptkomponenten aus folgenden Bereichen:

- Wareneingang
- Lagerbereiche
- Logistik
- Zerlegung
- Wiederverwendung
- Einkauf
- Verkauf
- Verwaltung

Die sich hieraus ergebenden Waren- und Informationsströme sind in Bild 3.5-2 dargestellt.

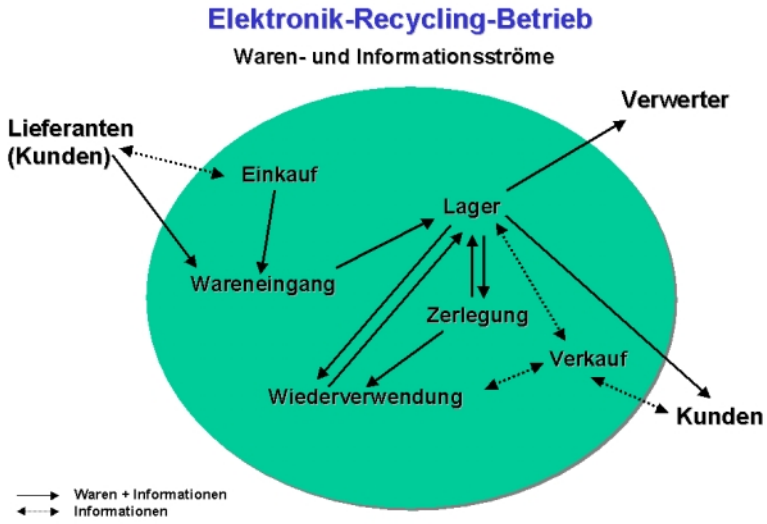


Bild 3.5-2: Waren- und Informationsströme in einem Elektronikrecyclingbetrieb

Im **Wareneingang** werden alle Lieferungen von Kunden angenommen, gesichtet und in einem ersten Schritt bereits bewertet. Das Resultat dieser Bewertung und Vereinnahmung ist die Überführung in ein erstes Lager, das **Eingangslager**.

In diesem Lager werden alle Basismaterialien für die weitere Bearbeitung gesammelt und je nach Bedarf in weitere Bereiche verbracht.

Ein weiterer und für den ERB sehr wichtiger Bereich ist die **Zerlegung**, die auftrags-, kunden- oder einzelgerätbezogen aus den Geräten, Teilen und Materialien des Eingangslagers Ausgangsfraktionen oder wiederverwendbare Komponenten durch Zerlegung gewinnt.

Ein ähnlicher Bereich ist die **Wiederverwendung**. Dort werden die Eingangsprodukte geprüft und gegebenenfalls für höherwertige Zwecke bereitgestellt oder dem Verkauf zugeführt.

Der Bereich **Einkauf** ist zuständig für die Abrechnungen der Lieferungen und sorgt sich um notwendige Absprachen mit Lieferanten über Abholungen, Preise oder Anlieferungszustände der Materialien.

Der **Verkauf** beschäftigt sich mit all dem was notwendig ist, um die erzeugten Materialien möglichst kostenfrei oder gar mit Gewinn wieder loszuwerden.

Die **Verwaltung** wird durch die allseits anfallenden Aufgaben wie Personalbetreuung, Korrespondenz, usw. beschäftigt.

Als letzte Einheit bleibt der Bereich **Logistik**, der dafür zu sorgen hat, dass alle Waren im Betrieb von einer Stelle zur anderen verbracht werden und dabei keine Fehler passieren. Weiterhin ist dieser Bereich dafür zuständig, dass die anderen Bereiche auch kostengünstig arbei-

ten können, d.h. die Steuerung einer auftrags- oder mengenbezogen Abwicklung obliegt diesem Bereich.

3.5.3 Infoflüsse und -medien heute und morgen

Infoflüsse in einem ERB beziehen sich auf Daten, die notwendig sind, um Aktivitäten anzustoßen und Ergebnisse von Aktivitäten zu dokumentieren. Die **heutige Situation** stellt sich wie folgt dar:

Informationsflüsse existieren zwischen allen Betriebsbereichen. Teilweise werden die Informationen mündlich weitergegeben („Bring‘ doch mal eine Gitterbox mit Bildschirmen zum Zerlegearbeitsplatz 4“) oder, wie auch bei anderen Betriebsarten üblich, mit Hilfe von Papier übermittelt. Besonders ineffizient erscheint die Verwaltung der Lagerbereiche. Diese erfolgt oft durch Anheften von Schildern an Gitterboxen oder anderen Behältnissen, auf denen eine Wareneingangsnummer vermerkt wurde. Der Betriebsleiter, der meist für die Steuerung des Ablaufs verantwortlich ist, stellt dann täglich durch mehrere Rundgänge und Sichtung des Eingangs- bzw. des Ausgangslagers fest, welche Art von Zerlegung und in welcher Reihenfolge diese zu erfolgen hat.

Die Erfassung der Ergebnisse einer Zerlegung erfolgt durch Wiegen der gewonnenen Fraktionen (Metalle, Kunststoffe, ...), durch Zählen von zerlegten Teilen und manuelles Übertragen der Ergebnisse in Erfassungsformulare, die dann tagesbezogen eingesammelt werden und zu Statistik- oder Abrechnungszwecken nochmals manuell bearbeitet werden müssen (Übertragung der Daten in andere DV-Anwendungen).

Die Arbeitsanweisungen für die Zerlegearbeiter bestehen im Normalfall aus einer kurzen Einweisung vor Ort und dem Sammeln von Erfahrung aus erfolgten Zerlegungen. Eine textliche oder visuelle Arbeitsunterstützung erfolgt meist nicht.

Im Wareneingang, einem wichtigen Bereich des Betriebs - dort werden oftmals die Entscheidungen über die weitere Bearbeitung des Eingangsmaterials getroffen - stehen ebenfalls meist nur minimale Informationsmengen über Beschaffenheiten, Termine, Verwendungsarten und Mengen von Lieferungen zur Verfügung. Die Informationen, die bei der Warenannahme erzeugt werden und vom Einkauf oft für die Entscheidung, wie mit dem Material zu verfahren ist und welche Rechnung gestellt werden kann, benötigt werden, werden durch Ausdrucken von Wareneingangsscheinen erfasst und weitergereicht. Dies führt oftmals zu erheblichen Verzögerungen bei der Abwicklung von kunden- und teilebezogenen Zerlegungen.

Zukünftig sollte die nachfolgend beschriebene Struktur die Informationswege klarer zu Tage treten lassen und für wesentlich verkürzte Informationsbereitstellungszeiten sorgen (Bild 3.5-3).

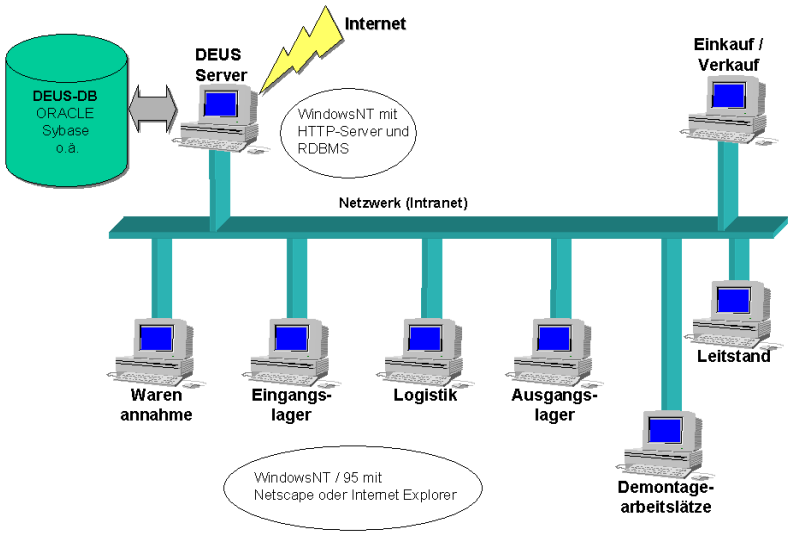


Bild 3.5-3: Zukünftiger informationstechnische Vernetzung in einem Elektronikrecyclingbetrieb

Jede informationsverarbeitende Stelle im Betrieb sollte mit einem Zugang (Arbeitsstation) zu einem zentralen Informationssystem ausgestattet werden. Diese Arbeitsstationen werden über ein Netzwerk an die zentrale Datenverwaltung (Server) angebunden.

Diese Struktur unterstützt bei gleichzeitigem Einsatz eines effizienten Informationssystems (Software)

- die aktuelle Verfügbarkeit aller warenbezogenen, textuellen Daten
- die aktuelle Verfügbarkeit von visuellen Daten (Bilder, Anleitungen, ...)
- die aktuelle Verfügbarkeit von externen Daten (Internet, bei vorhandenem Anschluss)

an allen angeschlossenen Arbeitsstationen (PCs). Papierbezogene Informationen werden auf ein Mindestmaß reduziert.

Hierdurch verkürzen sich die Transportzeiten für Informationen und damit auch die Reaktionszeiten innerhalb des gesamten Betriebs.

In IREAK wurde prototypisch ein Softwaresystem mit Arbeitstitel DEUS entwickelt, das diese Anforderungen berücksichtigt und nachfolgend beschrieben werden soll.

3.5.4 DEUS

DEUS (**D**emontage **E**ntscheidungs **U**nterstützungs **S**ystem) hat zur Aufgabe, alle Informationen rund um die Warenflüsse innerhalb eines ERB's zu unterstützen. Die Unterstützung kann durch Einsatz von

einfachen Listen bis hin zur eingebundenen und auftrags- oder warenbezogenen Bildinformation aus dem Internet erfolgen. Hierzu wurde das heute bereits erfolgreich erprobten Mittel des Intranet in Verbindung mit einer relationalen Datenbank als Sammelpunkt für alle Informationen rund um den Warenfluss eingesetzt.

Ein ERB, der DEUS einsetzen möchte, benötigt einen handelsüblichen PC mit vernünftiger Ausstattung als Server. Auf diesem Server werden drei Programme installiert:

- ein Datenbankserver,
- ein HTTP-Server und
- ein kleines Programm für den Datenbankzugang über den HTTP-Server.

Um den Zugang zum Internet zu gewährleisten wird noch eine Zugangssoftware für den jeweiligen Internet-Provider benötigt.

Als Netzwerk kommt Ethernet mit TCP/IP zum Einsatz. Die einzelnen Arbeitsstationen (PCs) sind ebenfalls handelsübliche Geräte, auf denen ein Internet Browser installiert sein muss (Netscape oder Microsoft Explorer).

Die Bedienung des Systems ist bewusst einfach gehalten. Die Informationen stehen kontext- und auftragsbezogen an den jeweiligen Arbeitsstationen zur Verfügung. Der Abruf erfolgt über die bekannten Browsertechniken. Die Eingabe von Daten wird in jedem Schritt unterstützt und, sofern gewünscht, auch online erklärt. Somit ist ein schrittweises Einarbeiten von neuem Personal ohne besondere Aufwände möglich.

Die Pflege der Informationen kann an jeder beliebigen Arbeitsstation erfolgen. Sinnvoll ist es aber, eine definierte Arbeitsstation zu haben, an der die Dateninhalte und -verbindungen gepflegt werden.

3.5.4.1 Der Einsatz von DEUS

Zum Starten von DEUS wählt der Benutzer in seinem Internet-Browser die DEUS-Startseite an oder aktiviert auf dem Desktop eine entsprechende Verknüpfung. Dieser Startvorgang kann selbstverständlich auch automatisch beim Starten des Rechners erfolgen. Dies ist immer dann sinnvoll, wenn es sich bei einem Rechner um eine dedizierte Arbeitsstation handelt (z.B. Wareneingang, Zerlegearbeitsplatz).

Nach kurzer Zeit erscheint am Bildschirm die DEUS-Login-Maske (Bild 3.5-4).

Bild 3.5-4: DEUS Login-Maske

Der Benutzer gibt hier seinen Benutzernamen und sein Passwort ein. Das System prüft anschließend, ob die eingegebenen Daten einem Benutzereintrag im System entsprechen und entscheidet daraufhin, welche Rechte der Benutzer innerhalb des Systems hat. Mit dem Einstiegsbildschirm beginnt die Arbeit mit DEUS (Bild 3.5-5).

DEUS - Microsoft Internet Explorer
IREAK
DEUS
Informationen im Verwerterbetrieb
Eingang
DEUS-Fkt
Stammdaten
Dokumentation
DEUS Ende
DEUS
Anregungen ?
u.rettich@eai-delta.de
EAI-DELTA GmbH
Das Demontageunterstützungs-Tool DEUS
Das von der DELTA Industrie Informatik GmbH entwickelte Softwaresystem DEUS ermöglicht dem Betreiber eines industriellen Demontage- und Verwertungsbetriebes, seine innerbetrieblichen Informationsflüsse zu steuern.
Es bietet u.a. Unterstützung für:
den Wareneingang
das Eingangs- und Ausgangslager
die Steuerung der Zerlegeaufträge
den Zerleger
den Betriebsleiter
die Erstellung von Dokumentationen, Statistiken und Nachweisen.
DEUS dient damit der Rationalisierung der gesamten betrieblichen Abläufe und Prozesse in einem industriellen Verwertungsbetrieb. Außerdem unterstützt es die Entscheidungsfindung bezüglich der Zerlegetiefe und des Zerlegevorgehens nach Wirtschaftlichkeits-, Qualitäts- und Umweltkriterien durch:
die Bereitstellung von Informationen über Beschaffenheit, Bestandteile und stoffliche Inhalte der zu zerlegenden Produkte und
die Berücksichtigung der aktuellen Kosten-/Erlössituation für Werkstoffe, Baugruppen und Produkte.

Bild 3.5-5: DEUS-Einstiegsbildschirm

Die DEUS-Funktionen umfassen die folgenden Bereiche

1. *Wareneingang*

   Für den Wareneingang wurden Funktionen wie

   - Auflisten aller Lieferungen

- Neuanlage einer Lieferung
- Weiterleiten einer Lieferung
- Einsehen von Vorgaben aus dem Einkauf
- Einsehen von waren- oder materialbezogenen Informationen
- Drucken von Warenanhängern und Lieferpapieren

implementiert. Diese Informationen stehen in der jeweilig geeigneten Form (textuell oder bildlich) zur Verfügung oder können durch einfaches Anwählen von bekannten Informationen an Lieferungen oder Teile gebunden werden.

2. *Eingangslage*r

   Das Eingangslager ist in DEUS virtuell in kleine Einheiten unterteilt, die für jeden Betrieb speziell angepasst werden können. Jede Einheit (Zelle) ist beschrieben durch ihren Ort im Betrieb und die mögliche Kapazität. Ein- und Auslagerungen erhöhen bzw. reduzieren die Menge eingelagerter Waren pro Zelle.

   Dem Benutzer stehen Funktionen wie

   - Anzeige des Zustands des gesamten Lagers bzw. von einzelnen Zellen,
   - Anzeige von erfolgten Ein-/Auslagerungen,
   - Erzeugung von Ein-/Auslagerungsaufträgen
   - Quittierung dieser Aufträge

   zur Verfügung.

3. *Logistiksteuerung*

   Die Logistik in einem ERB hat in erster Linie die Aufgabe, Waren von einem Bereich gezielt in den anderen zu verbringen. DEUS unterstützt daher diesen Bereich u. a. mit den folgenden Funktionen:

   - Erzeugen von Logistikaufträgen

     (Ein-/Auslagern, Abholen von Teilen aus der Zerlegung oder dem Wareneingang)

     Diese Aufträge können besonderen Logistikeinheiten (Personen oder Maschinen (Stapler)) und/oder auch Zeiten (frühest, spätest, ...) zugeordnet sein.

   - Quittieren von Logistikaufträgen

     Nach erfolgtem Auftrag sollte der Benutzer den Auftrag quittieren.
     Dies ist wichtig, damit der Mitarbeiter, der für die Steuerung dieses Bereichs verantwortlich ist, sofort erkennen kann, wie die Zustände der aktiven Logistikaufträge sind.

4. *Zerlegung*

   Die Zerlegung wird durch die in DEUS integrierte Auftragssteuerung unterstützt. Der Werker bekommt zu jeder Zeit seinen Arbeitsvorrat angezeigt und kann innerhalb der vom Betriebsleiter vorgegebenen Zeitspanne selbst entscheiden, in welcher Reihenfolge er die Aufträge abarbeiten möchte. Zusätzlich hierzu kann sich der Werker jederzeit Informationen am Bildschirm anzeigen lassen, die für die Zerlegung wichtig sind (Zerlegevorschriften, Arbeitsanweisungen, Sicherheitsvorkehrungen, ...). Hier dient der Bildschirm als elektronische Hinweistafel. Weiterhin wird der Werker bei der Erstellung von Zerlegeprotokollen - seinen Arbeitsnachweisen - unterstützt und muss diese nicht mehr in Papierform erstellen und weiterreichen.

5. *Wiederverwendung*

   Im Bereich der Wiederverwendung, der ein Mixbereich zwischen Demontage und Montage ist, können jederzeit Informationen über die Waren, Teile und Materialien, die bearbeitet werden sollen, abgerufen werden.

6. *Ausgangslager*

   Das Ausgangslager ist von seiner Struktur her vergleichbar mit dem Eingangslager. Hauptbestandteile des Ausgangslagers sind Fraktionen, d.h. aus der Zerlegung anfallende Materialien. Besonderes Augenmerk muss beim Ausgangslager auf Lagermengen gelegt werden, wenn es sich um Stoffe handelt, die gesetzlichen Vorschriften unterliegen. DEUS bietet hierzu die Möglichkeit der Ein- bzw. Anbindung von Systemen, die diese Vorschriften bereits enthalten.

7. *Einkauf*

   Der Einkauf eines ERB's sorgt sich um die Verbindung zum Lieferanten. Lieferanten sind hierbei öffentliche Sammelstellen (z.B. Recyclinghöfe), große Firmen, aber auch der „Kleinanlieferer" mit seinem alten Fernseher, den er gerne entsorgen möchte. Bei großen Kunden erfolgt die Belieferung oftmals termingebunden und mit festgelegtem Inhalt (z.B. 2 Gitterboxen Tastaturen). Der Einkauf spricht die Anlieferung, oder in manchen Fällen auch die Abholung durch den ERB selbst, mit den Kunden ab und erzeugt in DEUS Besprechungsprotokolle, in denen alle für den Mitarbeiter des Wareneingangs wichtigen Daten vermerkt sind (Termin, Menge, Lieferant). Die Eingabe der Daten erfolgt am Einkaufsarbeitsplatz von DEUS, wenn möglich noch während des Telefongesprächs mit dem Kunden/Lieferanten. Die erzeugten Daten sind dann sofort für den Wareneingang und den Betriebsleiter erkennbar und können für die weitere Arbeitsplanung eingesetzt werden.

8. *Verkauf*

   Verkauf in einem ERB bedeutet das möglichst kostengünstige „Loswerden“ von Stoffen/Materialien, die nicht weiterverwendet oder verkauft werden können, und das gezielte Anbieten von wiederverwendbaren Waren. Als Idee steht hier das Internet-Kaufhaus für elektronische Gebrauchtgeräte.

   Im Prinzip handelt es sich um eine weitere Art von Lager, das Informationen über Waren mit einigen zusätzlichen Daten wie Verkaufspreisen enthält und über das Internet abrufbar ist.

   Die Planung der Entsorgung von Stoffen und Materialien kann in DEUS durch Anhängen von Informationen über Verwerter, Deponien, Preise, usw. unterstützt werden.

9. *Statistik*

   Die vielfältigen Aufgaben im Bereich Statistik und Datenaufbereitung, die es in einem ERB gibt, werden von DEUS unterstützt, indem es jederzeit möglich ist, gesammelte Daten (z.B. Zerlegeprotokolle) über parametrierbare Suchfilter aus der Datenbank zu selektieren und anderen Programmen mittels eines Exports zu Verfügung zu stellen und sie dort statistisch weiter zu behandeln

3.5.4.2 Basisfunktionen

Als Basis werden u.a. in einem Menü die Funktionen

- Kundendaten bearbeiten,
- Wareneingangsdaten bearbeiten,
- Auftragsdaten bearbeiten,
- Daten für einen Zerlegearbeitsplatz bearbeiten

zur Verfügung gestellt

Der Benutzer wählt in diesem Menü seinen gewünschten Arbeitsbereich und erhält anschließend die bereichsspezifische Softwareumgebung am Bildschirm angeboten.

Der Einstieg in die einzelnen Funktionsbereiche wird über Zugangscodes (Passwörter) geschützt. Diese Zugangscodes sind benutzerbezogen und liegen in der Datenbank, wo sie von einem autorisierten Benutzer gepflegt werden können.

3.5.4.3 Hilfsfunktionen

Hilfsfunktionen dienen zur Pflege des Gesamtsystems und/oder zur Definition von Stammdaten. Stammdaten sind Informationen, die für das gesamte System zur Verfügung stehen sollen.

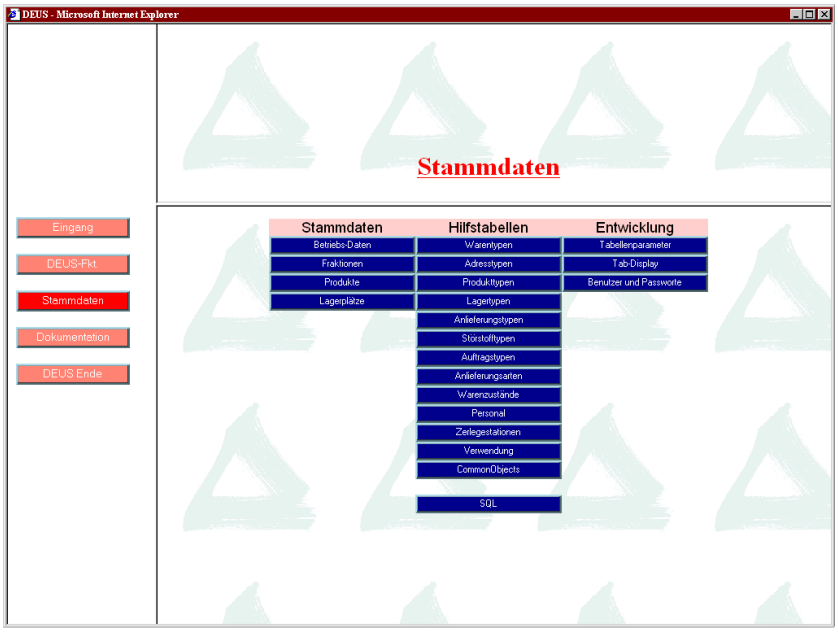


Bild 3.5-6: DEUS-Maske für Stammdaten

Als Beispiel für Stammdaten sei der Bereich Produkte beschrieben (Bild 3.5-6):

Produkte werden in DEUS ähnlich den Produktstrukturen im Montagebereich beschrieben. Es existiert für jedes Produkt, sei es Endprodukt, Baugruppe oder Teil, ein Beschreibungsknoten in einem Produktbaum, der zusätzlich zu den frei definierbaren, textuellen Beschreibungen auch noch Links zu weiteren Informationsquellen enthalten kann. Die Pflege dieser Daten erfolgt in der Funktion „Produkte“.

Um dem Benutzer eine Online-Hilfe anzubieten, wurde die komplette System- und Anwendungsdokumentation in Form von HTML-Seiten auf dem Server abgelegt und kann dort auch gepflegt werden. Der Benutzer kann sich ähnlich einem Benutzerhandbuch die in Bild 3.5-7 dargestellten Informationen anwählen.

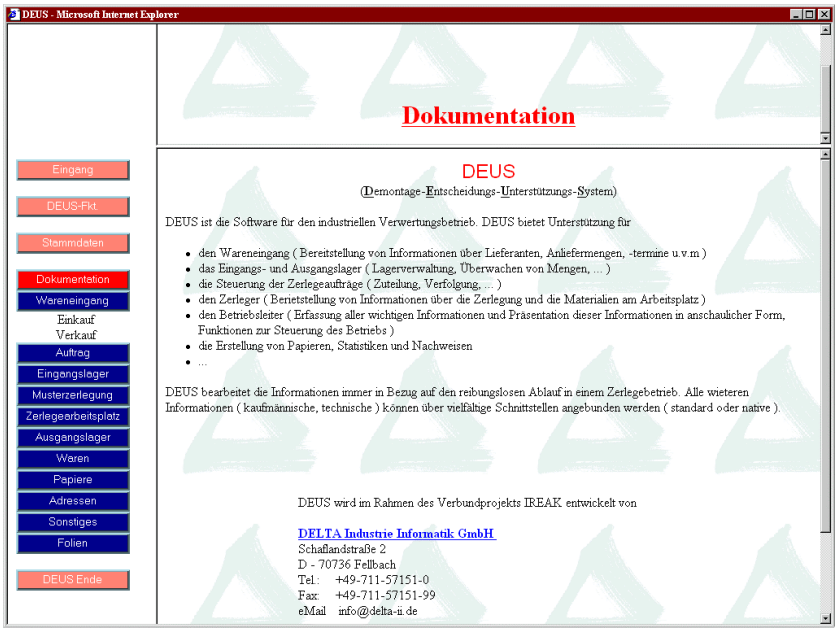

DEUS - Microsoft Internet Explorer
Dokumentation
Eingang
DEUS-Fkt.
Stammdaten
Dokumentation
Wareneingang
Einkauf
Verkauf
Auftrag
Eingangslager
Musterzerlegung
Zerlegearbeitsplatz
Ausgangslager
Waren
Papiere
Adressen
Sonstiges
Folien
DEUS Ende
DEUS
(Demontage-Entscheidungs-Unterstützungs-System)
DEUS ist die Software für den industriellen Verwertungsbetrieb. DEUS bietet Unterstützung für
den Wareneingang (Bereitstellung von Informationen über Lieferanten, Anliefermengen, -termine u.v.m)
das Eingangs- und Ausgangslager (Lagerverwaltung, Überwachen von Mengen, ...)
die Steuerung der Zerlegeaufträge (Zuteilung, Verfolgung, ...)
den Zerleger (Bereitstellung von Informationen über die Zerlegung und die Materialien am Arbeitsplatz)
den Betriebsleiter (Erfassung aller wichtigen Informationen und Präsentation dieser Informationen in anschaulicher Form, Funktionen zur Steuerung des Betriebs)
die Erstellung von Papieren, Statistiken und Nachweisen
...
DEUS bearbeitet die Informationen immer in Bezug auf den reibungslosen Ablauf in einem Zerlegebetrieb. Alle wieteren Informationen (kaufmännische, technische) können über vielfältige Schnittstellen angebunden werden (standard oder native).
DEUS wird im Rahmen des Verbundprojekts IREAK entwickelt von
DELTA Industrie Informatik GmbH
Schaflandstraße 2
D - 70736 Fellbach
Tel: +49-711-57151-0
Fax: +49-711-57151-99
eMail info@delta-ii.de

Bild 3.5-7: DEUS-Maske zu Hilfsinformationen

3.5.4.4 Beispiel

Die anschließenden Bildschirmabzüge sollen zur beispielhaften Illustration des Systems dienen:

Im Wareneingangs-Modul von DEUS wird chargenorientiert gearbeitet. Jede Lieferung wird durch eine neue Charge mit neuer Bezeichnung und Nummerierung repräsentiert. Der Benutzer stellt lediglich durch Auswahl aus vordefinierten Listen die notwendigsten Informationen für die Lieferung zusammen. Das System erzeugt daraus einen Chargensatz, der durch Eingabe von weiterer Information über Einzelpositionen der Chargen sofort oder im Nachgang zur Annahme der Ware erweitert werden kann. Der Bildschirmaufbau ist in Bild 3.5-8 dargestellt.

Informationen werden nur soweit eingegeben wie sie bekannt sind. Das System ist sehr tolerant gegenüber fehlender Information. Es ist jedoch zu beachten, dass eine verbesserte Verarbeitung der Waren in nachgelagerten Bereichen davon abhängt, wie gut die Qualität der Daten aus dem Wareneingang ist.

Die Angabe von zusätzlichen Informationen zu Chargen oder Teilen von Chargen können durch textuelle Ergänzungen (freier Text) und/oder durch die Anlage von Links zu bereits vorhandenen Informationen der unterschiedlichsten Art erfolgen (Bild 3.5-9).

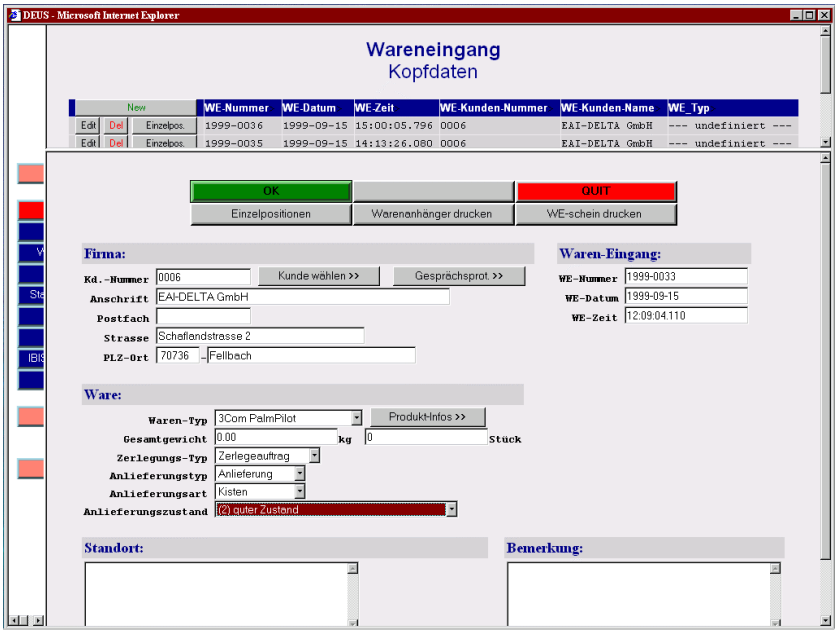


Bild 3.5-8: DEUS-Bildaufbau Wareneingang

Bild 3.5-9: DEUS-Maske zu weiteren Produktinformationen

Man sieht, dass auch Zugriffe über das Internet (URL) auf nicht lokal vorhandene Informationen möglich sind. Die Pflege dieser möglichen Verbindungen obliegt sinnvollerweise dem Systemverwalter.

Die gleiche Vorhehensweise für die Anzeige und Erfassung von Daten zieht sich durch das gesamte System. Als weiteres Beispiel sei die **Auftragsverwaltung** genannt:

Ein Auftrag, d.h. die Definition einer Warenbewegung im ERB, besteht immer aus einem Auftragskopf mit Auftragsnummer und -status und den zugehörigen spezifischen Daten wie Zeitpunkte, Bearbeiter, usw. Die Zuordnung zu Waren erfolgt über die Funktion “Position zuweisen”. Mit dieser Funktion kann der Benutzer durch einfaches Auswählen von Waren aus der Liste der vorhandenen Waren den

Auftrag vervollständigen. Durch die Angaben Ausgangs-Ort und Bestimmungs-Ort ist die anschließende Verarbeitungsart der Waren festgelegt.

Weiterhin ist bei Aufträgen schnell erkennbar, in welchem Bearbeitungszustand sie sich befinden:

- Angelegt,
- In Bearbeitung,
- Abgeschlossen

sind derzeit als Stati verfügbar. Es können jedoch noch weitere Stati aufgenommen werden (Bild 3.5-10).

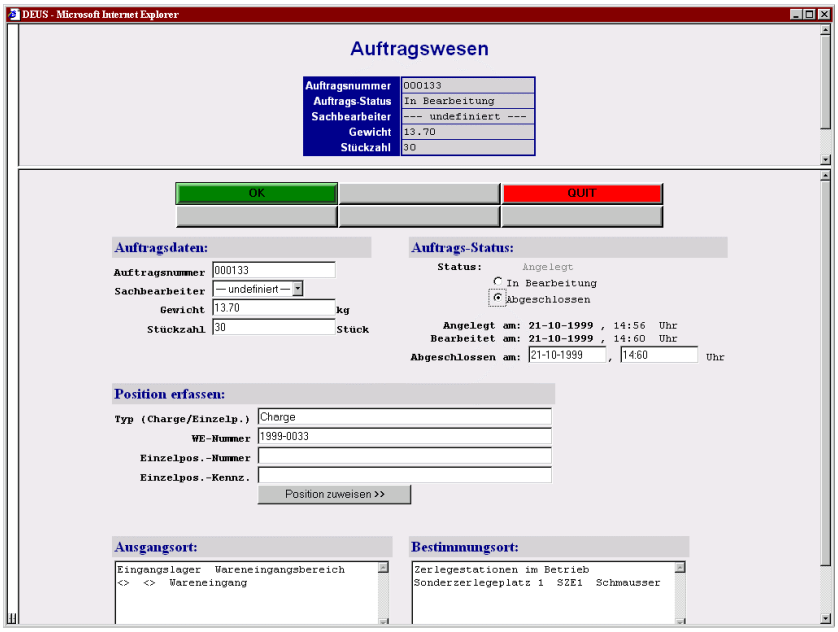


Bild 3.5-10: DEUS-Maske zum Auftragswesen

Durch die Zwangsverknüpfung von Bearbeitungsabfolgen (Angelegt → In Bearbeitung → Abgeschlossen) ergibt sich automatisch eine einfache, aber sehr effiziente Steuerung des gesamten betrieblichen Warenflusses.

3.5.4.5 Schnittstellen und andere Systeme

Schnittstellen bestehen zu allen auf einem PC verfügbaren und über die gängigen Mechanismen von Microsoft aktivierbaren Applikationen. Als Beispiel sei genannt, dass der Benutzer an alle Informationsknoten Excel-Sheets als Link anhängen kann, indem er einfach den Namen (inkl. Pfad) der Excel-Datei angibt und somit Kalkulationsblätter für einzelne Materialien oder Geräte einfach und schnell zur Verfügung

hat. Diese Links werden wie alle Daten in der Datenbank auf dem Server abgespeichert und sind somit sofort nach der Neuanlage auf allen angeschlossenen Datenstationen verfügbar. Über Passwörter werden die Zugänge zu einzelnen Daten geregelt.

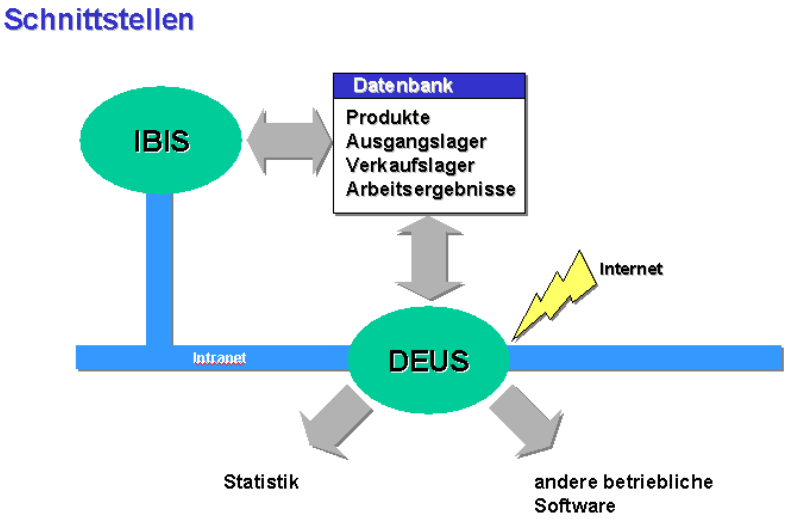


Bild 3.5-11: DEUS-Schnittstellen

Alle gesammelten Daten, die wie beschrieben in der zentralen Datenbank abgelegt werden, können über einen einfachen Datenexport in Anwendungen wie Word oder Excel weitere Verwendung finden. Spezielle Anbindungen an externe Systeme wie Buchhaltung o.ä. können ebenfalls realisiert werden.

Eine besondere Schnittstelle ist die zum - ebenfalls in IREAK entwickelten - Informationssystem IBIS. Bei diesem System handelt es sich um ein dem System DEUS sehr ähnlichen System, das die Unterstützung der Informationswege zwischen Herstellern von elektronischen Geräten und den Verwertungsbetrieben zum Ziel hat (Bild 3.5-11).

Hierbei werden u.a. Daten wie

- Prüfvorschriften,
- Materiallisten,
- Wartungsunterlagen (Kundendienst) bis hin zu
- CAD-Zeichnungen

bei den Herstellern erfasst und über das Internet den ERBs zur Verfügung gestellt.

DEUS und IBIS wurden durch eine sehr enge Kopplung verbunden, die sich in den jeweiligen zentralen Datenbanken der beiden Systeme widerspiegelt. Dies stellt sicher, dass auch Daten von Herstellern zukünftig für Arbeitsanweisungen oder Zerlegevorschriften innerhalb von DEUS genutzt werden können. Weiterhin wird diese Schnittstelle

genutzt, um die Daten des Verkaufslagers eines ERB's direkt von beiden Systemen online zugreifbar zu machen.

3.5.4.6 Kosten / Nutzen

Die Kosten für das System DEUS beschränken sich, wie oben bereits erwähnt, auf die Anschaffung von geeigneten PCs nebst Netzwerk, sofern dies noch nicht vorhanden ist. Die Kosten für die Lizenzen (Serversoftware, DEUS-Applikation) werden sich in Summe ebenfalls im Rahmen halten. Somit ist gewährleistet, dass dieses System auch für nicht unbedingt finanzstarke Unternehmen einsetzbar ist.

Der Nutzen, der aus der konsequenten Anwendung entsteht, ist derzeit noch nicht zu beziffern, da geeignete Vergleichswerte für die bisherige Vorgehensweise fehlen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass sich eine Kostenersparnis, die in sehr vielen Bereichen des ERB's erfolgen kann, von mehr als 30% realisieren lässt.

Ein weiterer - nicht unbedingt in Geld zu fassender - Nutzen ist die sehr viel genauere Erfassung und Transparenz im Zerlegebereich. Dies wirkt sich auf die Qualität der Statistiken und der für amtliche Stellen notwendigen Angaben (z.B. Abfallströme) aus. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass eine sinnvolle Wiederverwendung von „alten" elektronischen Komponenten erst dann sinnvoll sein wird, wenn die Informationen, die mit den Aktivitäten der „Wiederaufbereitung" verbunden sind, durch ein derartiges System bearbeitbar werden.

3.6 Personal- und Organisationsentwicklung in industriellen Verwertungsunternehmen

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse entstanden in enger Zusammenarbeit mit folgendem Teilprojekt:

TV 7: Neue Formen von Personal- und Organisationsentwicklung (verantwortlich: a&o research GmbH)

Das Projekt IREAK war ein industrienahes Entwicklungs- und Umsetzungsprojekt. Die Entwicklung und Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Unternehmen ist jedoch eng an die Qualifikation und das Handeln der im Unternehmen tätigen Menschen gebunden. Deshalb sollten im Rahmen von IREAK Prozesse der Personal- und Organisationsentwicklung in Verwertungsunternehmen erarbeitet und realisiert werden.

Industriell organisierte Verwertungsunternehmen sind eine notwendige Bedingung für das Funktionieren wirtschaftlicher Kreisläufe von Elektronik-Altgeräten. Die Durchgängigkeit der Kreisläufe kann nur mit Unternehmen gestaltet werden, die in der Qualität ihrer Organisation, in der Beherrschung und Wirtschaftlichkeit ihrer Prozesse gleichwertig sind. Der moderne, durchorganisierte und kundenorientierte Herstellungsprozess muss sein Pendant in einem ebensolchen Verwertungsprozess finden. Zugespitzt formuliert: Industrielle High-Tech Produktion verträgt sich nicht mit “Bastelstuben”. Verwertungsunternehmen müssen den Anforderungen industrieller Massenproduktion entsprechen.

Dabei befinden sich die Verwertungsunternehmen unter dem Einfluss vielfältiger, teilweise konfligierender Faktoren.

Die gesellschaftlichen Bedingungen, wie Vorhandensein oder auch Nicht-Vorhandensein ökologischer Werte, die Eigenschaften der Altprodukte und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Gestalt der Wirtschaftlichkeit von differenzierten Verwertungsalternativen stellen hohe Anforderungen an die Flexibilität, Dynamik und Robustheit der Prozesse in den Verwertungsunternehmen. Hinzu kommt, dass eine Vielzahl von Unternehmen zur Verwertung von Elektronik-Altgeräten erst im Zuge der Vorbereitung der Elektronikschrottverordnung in den Jahren 1990 – 1993 gegründet wurden und sich den Bedingungen junger kleiner und mittelständischer Unternehmen stellen müssen.

Im Rahmen des Projektes IREAK erarbeiteten die beteiligten Partner zunächst Kriterien eines industriell organisierten Verwertungsunternehmens für Elektronik-Altgeräte (Abbildung 3.6-1).

Kriterien des industriell organisierten Elektronik-Verwertungsunternehmens
• Wirtschaftlichkeit
• Flexibilität hinsichtlich der Art und Masse anfallender Alt-Geräte
• Technisierung und Weiterentwicklung der Recyclingverfahren
• Standardisierung der Abläufe
• Strategisches Management
• Controlling betriebswirtschaftlicher Abläufe und der Stoffströme

Abbildung 3.6-1: Kriterien industriell organisierter Verwertungsunternehmen für Elektronik-Altgeräte

Sicher sind diesen Kriterien noch weitere hinzuzufügen. Sie entsprechen jedoch in ihrer Grundaussage denen, die auch für Unternehmen anderer Branchen gelten. Dennoch war es das Ziel, Spezifika der Entwicklung von Verwertungsunternehmen zu finden und exemplarische Vorgehensweisen und Lösungen für die Gestaltung von Prozessen, Beziehungen und Qualifikationsentwicklungen in Verwertungsunternehmen zu erarbeiten.

3.6.1 Der sozialwissenschaftliche Lösungsansatz: Kompetenzentwicklung

Bei der Konzipierung des Herangehens ließ sich der Projektpartner a&o research von einem Ansatz der Kompetenzentwicklung leiten, der davon ausgeht, dass Kompetenz eine ”Verlaufsqualität psychischer Tätigkeit” (Baitsch, 1986) ist. Dieser Ansatz beinhaltet, dass Menschen in ihrer Arbeitstätigkeit immer psychisch arbeiten und zwar in folgenden Richtungen:

- auf der Ebene ”Ausrichtung der Tätigkeit”

Das bedeutet, dass jeder Mensch, ob qualifiziert oder für die Tätigkeit nicht qualifiziert, ob Mitarbeiter oder Führungskraft, seine Tätigkeit auf bestimmte Aufgaben, Ziele und Interessen orientiert. Dies impliziert die Fragestellungen: ”Was ist meine Aufgabe?” ”Wohin soll die Erfüllung der Aufgabe führen?” ”Was nützt es mir?” ”Wie kann ich das, was mir nützt, am besten realisieren?”

- auf der Ebene ”Sinn der Tätigkeit”

Das bedeutet, dass die Tätigkeit, die Menschen ausüben mit einem Zweck verbunden werden, der der sozialen Gemeinschaft dient, mit der man sich verbunden fühlt. Dies kann die Familie sein, ein Kundenkreis oder auch die Gesellschaft. Der Sinn der Tätigkeit ist Hintergrund

intrinsischer Motivation, die wiederum die Selbstregulation der Arbeitenden beeinflusst.

- auf der Ebene ”Reflexion der Tätigkeit”

Das bedeutet, dass Menschen ihre Tätigkeit auf eine bestimmte Art und Weise reflektieren. Gibt es einen reflektierten Unterschied zwischen psychischen Wahrnehmungen von ”Ausrichtung der Tätigkeit”, ”Sinn der Tätigkeit” und erlebter Realität, dann reflektieren die Mitarbeiter und Führungskräfte die erlebte Realität, nicht die vorhandene eigene Kompetenz. Daraus entsteht ein Auseinanderklaffen von erfahrungsgeleiteter Kompetenz und in den Arbeitsprozess eingebrachter Kompetenz, verbunden mit dem Begriff der ”kognitiven Dissonanz”. Umgangssprachlich ist das deutbar mit ”Ich weiß es besser, aber da es keiner hören will, füge ich mich in die Gegebenheiten und mache es unbemerkt anders”.

Der sozialwissenschaftliche Forschungs- und Gestaltungsprozess im IREAK-Projekt war darauf ausgerichtet, eine Kompetenzentwicklung zu fördern, die eine klare Ausrichtung der eigenen Tätigkeit ermöglicht, den Sinn der Tätigkeit im Kreislauf erlebbar macht und eine Veränderung der Reflexionsmöglichkeiten sowie -bereitschaften bewirkt. Dies fördert Motivation, Eigenverantwortung, Selbstorganisation und Identifikation der Mitarbeiter und Führungskräfte mit ihrer Tätigkeit.

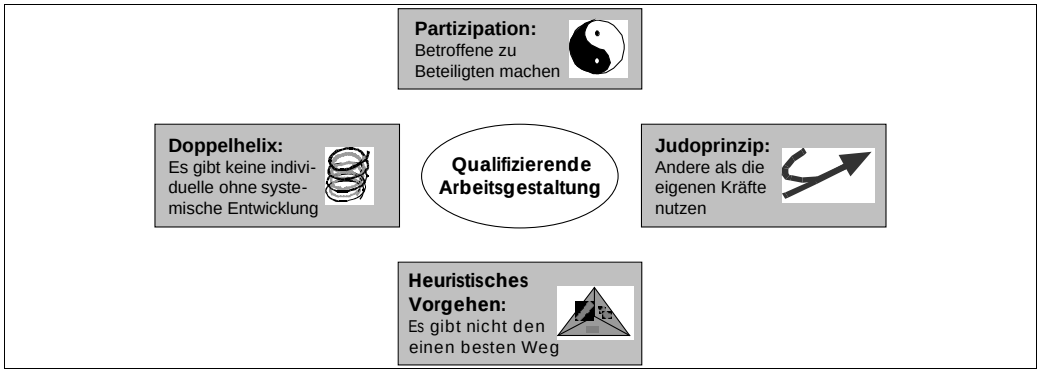


Abbildung 3.6-2: Prinzipien der Qualifizierenden Arbeitsgestaltung (nach Frei et al., 1993)

Ein Prozess, der zu dieser Art und Weise der Kompetenzentwicklung beitragen soll, muss den Prinzipien folgen (Abbildung 3.6-2):

- **”Knüpfe (unvoreingenommen) an die Kräfte an, die Du vorfindest”** (Prinzip aller japanischen Kampfsportarten)
- **”Es gibt nicht den einen besten Weg”** (Heuristik nach Archimedes: Wer sucht, der findet): Ziele sind wichtig, der Weg, das Ziel zu erreichen, kann und muss durch die Menschen selbst erfunden werden

- **”Beteilige die Betroffenen”:** Jeder, der von einem Prozess betroffen ist, versucht, seine eigene Kompetenz im oben genannten Sinne darauf auszurichten. Widerstand und Abwehr sind umso weniger zu erwarten, je mehr die Akzeptanz, der Respekt und die Empathie für die Situation deutlich werden. Am deutlichsten werden sie durch eine differenziert gestaltete Beteiligung von Mitarbeitern an den Prozessen des Unternehmens.
- **”Keine reale Personal- ohne Organisationsentwicklung und umgekehrt”:** Dieses Prinzip der sogenannten “Doppelhelix” bringt zum Ausdruck, dass nachhaltige Entwicklungs- und Lernprozesse nur in Einklang mit der jeweils anderen Seite – Personal- und Organisationsentwicklung – zu realisieren sind. Dabei ist unerheblich, an welche Punkte ein Vorgehen ansetzt; ob an Personal- oder an Organisationsentwicklung. Es muss jedoch auf jeden Fall seine Widerspiegelung in dem jeweils anderen Prozess finden.

Dieser Ansatz ermöglichte es uns, eine an den Kompetenzen der Mitarbeiter anschließende, situationsbezogene und projektförderliche Vorgehensweise zu entwickeln, d.h. der aktuellen Situation adäquate Forschungsergebnisse der Arbeits- und Organisationspsychologie auch in diesem Feld zur Anwendung zu bringen.

In den Abschnitten 3.6.2 bis 3.6.7 werden die Erkenntnisse und Ergebnisse der sozialwissenschaftlich gestützten Entwicklungsarbeit im Unternehmen Hetzel Elektronik-Recycling GmbH vorgestellt.

3.6.2 Entwicklung der Unternehmens- und Führungsstrukturen

3.6.2.1 Ausgangssituation nach Organisationsdiagnose und erste Veränderungen

Zu Beginn des Projektes im Jahre 1996 führte a&o research eine umfassende Organisationsdiagnose im Unternehmen Hetzel durch. Diese bestand darin, leitfadengestützt eine Befragung eines repräsentativen Querschnitts von Mitarbeitern und Führungskräften aller Ebenen und Bereiche vorzunehmen. Die Hypothesen für die bei jedem Gespräch eingesetzten Fragen entwickelten wir aus dem ganzheitlichen Ansatz des IREAK-Projektes sowie aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen der Entwicklung von Organisation und Personal.

Eine der grundsätzliche Hypothesen für das Projekt bestand darin, dass sich die Arbeit in Verwertungsunternehmen durch einen grundsätzlich anderen Charakter auszeichnet. An die Stelle des Herstellens tritt das Zerstören, an die Stelle des sichtbaren Produktes tritt eine Funktion im Kreislauf. Deshalb stellten wir eine Reihe von Fragen nach dem Inhalt, Sinn und Spaß an der Arbeit. Diese Hypothese konn-

te jedoch nicht bestätigt werden.[15] Außerdem entwickelten wir Hypothesen zum Einfluss der Unternehmensentwicklung, des Standes der Technik, der verfolgten Personalstrategie und der Art und Weise von Führung auf das Arbeitsverhalten der Mitarbeiter und Führungskräfte (siehe Kapitel 3.6.9 Anhang: Interviewleitfaden).

Die Ergebnisse der Befragung wurden, differenziert nach gewerblichen Mitarbeitern, Angestellten und Führungskräften, ausgewertet und den Befragten in diesen verschiedenen Sichtweisen zur Diskussion gestellt. Daraus wurde ein erster Ansatzpunkt der Unternehmensgestaltung abgeleitet.

Die zentrale Fragestellung des Unternehmen Hetzel bestand nach diesem Prozess im Jahre 1996 darin, auf welche Art und Weise ein Übergang von einem zentral, patriarchalisch geführten Unternehmen zu einem dezentral und partizipativ geführten Unternehmen organisiert werden kann.

Die Aufgabe “Veränderung von Führungsstrukturen” war somit das wichtigste Ergebnis der Organisationsdiagnose. Die Diagnose führte jedoch auch, insbesondere im Bereich der gewerblichen Mitarbeiter, zu ersten Aktivitäten im Bereich der Arbeitsplatz- und Umgebungsgestaltung, der Arbeitsorganisation und der Qualifizierung. Die breit angelegte Organisationsdiagnose hat sich damit als ein geeignetes Instrument der Analyse von Unternehmenssituation und der beginnenden Initiierung von Veränderungen im Verwertungsunternehmen bewiesen.

3.6.2.2 Gestaltung von Unternehmensstruktur und Führung

Aus den Ergebnissen der Organisationsdiagnose ergab sich als Konsequenz, zunächst die individuelle und teamorientierte Entwicklung der Führungskräfte bzw. in Schlüsselpositionen tätigen Mitarbeiter voranzutreiben und im Anschluss daran eine gemeinsame Strategiearbeit mit dem Geschäftsführer zu beginnen (siehe Kapitel 3.6.2.3).

Deshalb wurde ein Prozess initiiert, der auf die Entwicklung der Reflexionsfähigkeit der Mitarbeiter in Bezug auf ihre Rolle im Unternehmen, ihre Aufgaben, ihre Ängste und Erwartungen ausgerichtet war. Dahinter stand die Überlegung, dass dezentrale Führung mit kompetenten, selbstbewussten und organisierten Menschen umgesetzt werden muss. In zentralen Führungsstrukturen entstehen solche Kompetenzen eher nicht. Wir entwickelten deshalb ein Konzept, das es ermöglichte, Persönlichkeitsentwicklungen im Zusammenhang mit der Reflexion und Veränderung der eigenen Tätigkeit zu fördern. Es war eine partizipative, dialogorientierte Führungskräfteentwicklung.

Im Einzelnen bestand sie aus:

[15] Nähere Ausführungen sind einer Studie der a&o research zu entnehmen. Vgl. : W. Duell: Produktive und Destruktive Arbeit. Berlin. 1999

- Der individuelle Erarbeitung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten im Unternehmen sowie von persönlichen Zielen durch die beteiligten Mitarbeiter und Führungskräfte.
- Der individuellen Vereinbarung der Prozessergebnisse zwischen dem einzelnen Mitarbeiter und dem Geschäftsführer.
- Der Umsetzung der vereinbarten Aufgaben mit Unterstützung des Geschäftsführers, anderer Teammitglieder und den externen Prozessbegleitern.
- Der Unterstützung der begonnenen Entwicklungsprozesse durch weiterführende Trainings- und Qualifizierungsmaßnahmen für die "heranwachsenden" Führungskräfte (z.B. zu den Themen Selbstmanagement, Problemlösetechniken, Umgang mit Konflikten, Planung und Umsetzung von Veränderungsprozessen im Unternehmen).

In diesem Prozess der Führungskräfteentwicklung bei Hetzel, der durch a&o research gesteuert und moderiert wurde, entwickelten alle Beteiligten, wenn auch in unterschiedlichem Maße, neue Verhaltensmuster im Umgang miteinander. Es entstand eine neues Selbstverständnis des Geschäftsführers zu seiner Führungsrolle, die mittlere Führungsebene identifizierte sich zunehmend mit ihren Aufgaben und Verantwortlichkeiten. Eine Führungs- bzw. Managementebene war entstanden, die die Prozessgestaltung in Geschäftsbereichen übernehmen konnte.

3.6.3 Die Erarbeitung und Gestaltung von Unternehmensvision und –strategie

Nach Abschluss der in Kapitel 3.6.2.2 beschriebenen Führungskräfteentwicklung wurde mit der Visions- und Strategiearbeit begonnen. Sie stand nun auf einer veränderten Grundlage. Nunmehr konnten die Führungskräfte gemeinsam mit dem Geschäftsführer unternehmensrelevante Zielstellungen und Planungen diskutieren und im Konsens verabschieden.

Die Gestaltung einer Unternehmensstrategie des Verwertungsunternehmens im Kreislauf der Produkte und Materialien muss sich befassen mit:

- Der Positionierung des Unternehmens im Kreislauf
- Der Herausarbeitung der Stärken des Unternehmens, der Benennung der Kundengruppen, die Bedarf nach diesen Leistungen haben und der Ableitung der Geschäftsfelder sowie
- der Stabilisierung dieser Voraussetzungen in entsprechenden Unternehmensstrukturen.

3.6.3.1 Positionierung von Verwertungsunternehmen im Kreislauf

Die Positionierung im Kreislauf ist einerseits mit der Fragestellung verbunden, in welcher Tiefe und welcher Breite eine Verwertung erfolgt (Verwertungsstrategie). Die Verwertungstiefe ist eine stofforientierte Dimension, die Verwertungsbreite eine leistungsorientierte Dimension.

Andererseits ist die Positionierung im Kreislauf davon abhängig, in welcher Beziehung das Verwertungsunternehmen zu Herstellern steht. Man kann zwischen herstellernahen und herstellerunabhängige Verwertungsunternehmen unterscheiden.

Im Projekt IREAK wurde festgestellt, dass Verwertungsstrategie und Beziehung zum Hersteller im Zusammenhang stehen. Verwerter, die in großer Nähe zum Hersteller stehen, können Stoffströme organisieren, die sich am möglichen Bedarf des Herstellers nach Produkten, Baugruppen oder Materialien orientieren. Diese können dazu führen, dass aus zurückgeführten Geräten originäre Materialien entstehen[16]. Auf diese Weise ist eine Einschränkung der Verwertungsbreite (z.B. kein Produktrecycling) und eine hohe Verwertungstiefe möglich.

Verwerter, die herstellerunabhängig arbeiten, z.B. die Rückläufe aus dem Kommunen bearbeiten, besitzen eher eine hohe Breite der zu verwertenden Geräte. Sie gewährleisten den Stoffstrom hin zu Materialproduzenten und ermöglichen ebenso Wiederverwertung oder Weiterverwendung. Mit der großen Breite der eingehenden Produkte und großer Breite von Verwertungsleistungen geht damit meist eine geringere Verwertungstiefe einher. Dieses Konzept lag im wesentlichen der Arbeit der Firma Hetzel zugrunde.

Neben diesen stark abgegrenzten Typisierungen sind selbstverständlich auch Kombinationen herstellernaher und herstellerunabhängiger Arbeit denkbar. Dennoch wird sich ein Verwertungsunternehmen im strategischen Prozess dazu bekennen müssen, in welcher Position zum Hersteller oder zu Herstellern es sich befindet und daraus die Konsequenzen für die Gestaltung der Geschäftsprozesse ableiten.

Im Unternehmen Hetzel wurde gemeinsam mit der Geschäftsführung und den leitenden Mitarbeitern des Unternehmens eine solche strategische Einordnung des Unternehmens im Kreislauf vorgenommen. Sie ist Bestandteil der Vision, die das Handeln der Mitarbeiter und Führungskräfte im Unternehmen auf die Gestaltung der Zukunft ausrichten soll (Abbildung 3.6-3).

[16] Dies wird im IREAK-Projekt am Beispiel des Unternehmens Grundig deutlich. Vgl Teil 3

"Hetzel begibt sich auf den Weg, ein Unternehmen zu sein, das die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft mitbestimmt und als Dienstleistungs- und Know-how-Zentrale für Hersteller den Kreislauf zwischen Produzenten und Verwertern schließt."

Abbildung 3.6-3: Beispiel einer Vision eines herstellerunabhängigen Verwertungsunternehmens

Die Erarbeitung der Vision des Unternehmens war ein wichtiger Schritt in der Schaffung eines gemeinsamen Selbstverständnisses der Mitarbeiter und Führungskräfte in Bezug auf ihr Unternehmen. Die Vision ist ein Bild des zukünftigen Unternehmens, an dessen Ausgestaltung die Unternehmensmitglieder teilhaben müssen.

3.6.3.2 Bestimmung und Entwicklung der Geschäftsfelder - Strategieentwicklung

Die Geschäftsfeldbestimmung erwies sich im Verwertungsunternehmen als eine entscheidende Voraussetzung für die Erarbeitung der Unternehmensstrategie. Für die Geschäftsfeldbestimmung war das wichtigste unterscheidende Kriterium die Spezifik der Produkte bzw. der Leistungen, die den Kunden nach den internen wertschöpfenden Leistungen angeboten werden. Die Kundengruppen als Abnehmer der jeweiligen Geschäftsbereiche wurden ebenso bestimmt.

Durch die Bestimmung der Geschäftsfelder konnte die Struktur von Hetzel geordnet werden. Die klare Abgrenzung der Bereiche nach Produkten bzw. Leistungen, die sich am Markt bewähren müssen, war eine Grundlage der Entfaltung unternehmerischer Verantwortung unter den leitenden Mitarbeitern des Unternehmens.

Die Kunden des Unternehmens befinden sich jedoch nicht nur auf der Abnehmerseite. Sie befinden sich auch auf der Seite der “Zulieferer”. In Konkurrenz zu anderen Entsorgungsunternehmen muss das Verwertungsunternehmen Kunden akquirieren, die ihre Altgeräte dem Verwertungsunternehmen überlassen. In Workshops wurden daher Kundengruppen definiert, die zu den “Zulieferern” von Hetzel gehören.

Diese besondere Konstellation, Kunden sowohl auf der Verbraucher- als auch auf der Abnehmerseite betreuen zu müssen, macht z.B. eine organisatorische Trennung der klassischen Funktionen Einkauf/Verkauf nicht sinnvoll. Beide Funktionen sind in die jeweiligen Geschäftsfelder integriert. Erst aus der Kopplung von Einkaufs- und Verkaufsaktivitäten kann der notwendige betriebswirtschaftliche Effekt entstehen, der Verwertungsunternehmen mit dem Geschäftsfeld Demontage im Vergleich zu anderen Entsorgungsunternehmen konkurrenzfähig macht.

Die Geschäftsfeldbestimmung mit der Erarbeitung der Kundengruppen auf der Zuliefer- und Abnehmerseite war eine Voraussetzung für die Entstehung eigenständiger wirtschaftlicher Einheiten im Verwertungsunternehmen, die mit hohen Handlungs- und Entscheidungsspielräumen jeweils geführt und gemanagt werden können. Der Prozess der Erarbeitung im Team der Mitarbeiter und Führungskräfte sicherte jedoch auch die notwendigen Synergien, die aus dem Zusammenspiel der Geschäftsbereiche im Unternehmen erwachsen müssen.

Das Ergebnis der Visions- und Strategieentwicklung bestand in einer klaren, wachstumsfähigen Unternehmensstruktur und in der Entwicklung von Kompetenzen der Mitarbeiter und Führungskräfte zur strategischen Gestaltung ihres Unternehmens sowie der Übernahme von Verantwortung bei der Führung der Geschäftsfelder.

3.6.3.3 Systempartnerschaften

Die Konzipierung und Organisation von Systempartnerschaften ist ein wesentlicher strategischer Baustein zur Gestaltung einer ganzheitlichen und damit nachhaltigen Wirtschaft. Sie ist eine Form überbetrieblicher Kooperation.

Ein wesentlicher Aspekt der Systempartnerschaft in der Kreislaufwirtschaft ist die Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen, in der die spezifischen Stärken der jeweiligen Partner so ergänzt werden, dass sowohl die Elektronikprodukte selbst als auch die in ihnen enthaltenen Stoffe möglichst lange im Kreislauf verbleiben.

Systempartnerschaften fördern, bei Sicherung der Effektivität der Prozesse, die Erhöhung der Zerlegetiefe, selbst bei herstellerunabhängigen Verwertern.

Systempartnerschaften erfordern vernetzte Beziehungen zwischen allen Beteiligten mit den gleichermaßen anerkannten Zielen wirtschaftlichen und ökologischen Handelns. Voraussetzung ist zunächst eine eigene transparente Verwertungs- und Unternehmensstrategie der jeweiligen Systempartner. Die Entwicklung und Bestandteile dieser Strategie wurden bereits beschrieben. Systempartnerschaften erfordern jedoch auch gegenseitiges Vertrauen und Offenheit der beteiligten Führungskräfte und Mitarbeiter, räumliche Nähe der Unternehmen und die dauerhafte Sicherung wirtschaftlichen Nutzens für alle Beteiligten.

Damit ist die Entstehung und Entwicklung von Systempartnerschaften ein anspruchsvoller Prozess von Organisations- und Personalentwicklung sowohl innerhalb der beteiligten Unternehmen als auch in der Partnerschaft selbst.

Im Rahmen des Projektes IREAK wurde das Thema Systempartnerschaften eher auf der konzeptionellen Ebene weiterentwickelt. Der Schwerpunkt lag auf der Erarbeitung und Umsetzung einer eigenen

Unternehmensausrichtung, um davon ausgehend in Zukunft zielgerichteter Systempartnerschaften knüpfen zu können.

3.6.3.4 Prozessgestaltung

Die drei Hauptfaktoren der strategischen Arbeit, die Positionierung im Kreislauf, die Bestimmung der Geschäftsfelder und - dies nur in ersten Ansätzen - die Gestaltung von Systempartnerschaften im industriellen Verwertungsunternehmen, wurden in einem mehrstufigen Prozess in der Firma Hetzel konkret bearbeitet und flossen in die Gestaltung des Unternehmens als industrielles Verwertungsunternehmen ein. Unter Beteiligung der Mitarbeiter, die in der strategischen Perspektive des Unternehmens eine wichtigen Platz einnahmen, wurden in mehreren Workshops folgende Themen- und Fragestellungen behandelt:

- Vision des Unternehmens
- Einschätzung der Marktentwicklungen, der Bedürfnisse der Kunden und der Trends in der Kreislaufwirtschaft
- Erarbeitung der Geschäftsfelder und Bestimmung der für die Geschäftsfelder relevanten Kundengruppen
- Erarbeitung persönlicher Zielstellungen und Handlungspläne der Führungskräfte zur Umsetzung der strategischen Konzepte

Durch die konsequente Beteiligung der Mitarbeiter und Führungskräfte verschiedener Ebenen und Funktionsbereiche und die Orientierung der Organisationsentwicklung an den spezifischen Voraussetzungen und Bedürfnissen des Unternehmens wurde Kompetenzentwicklung möglich. Die Unternehmensstrategie wurde transparent, die Mitarbeiter lernten ihre Handlungsspielräume kennen und daraus eigene Aufgaben abzuleiten und sie lernten, in welchem Maße sie ganz persönliche Stärken, Interessen und Erwartungen in das Unternehmen einbringen können. Die drei Faktoren Transparenz, Beeinflussbarkeit und eine Übereinstimmung zwischen persönlichen sowie Interessen der Unternehmen sind wichtige Kriterien für die erfolgreiche und kompetenzförderliche Gestaltung von Veränderungsprozessen in Unternehmen (Rell, Jacob, Duell 1997). Durch die Verknüpfung von Unternehmensgestaltung und Kompetenzentwicklung in den Verwertungsunternehmen wurde die Zahl, Intensität sowie Kreativität der Mitarbeiter bei der aktiven Gestaltung und Veränderung von Hetzel wesentlich erhöht. Damit konnten bereits während des Projektes wichtige Impulse für die jeweiligen Geschäftsfeldentwicklungen durch die verantwortlichen Mitarbeiter selbst gegeben werden.

3.6.4 Gestaltung flexibler und optimierter Demontageprozesse

3.6.4.1 Erfahrungsgeleitete Optimierung durch Mitarbeiter im Verwertungsunternehmen

Die Entwicklung von Verwertungsunternehmen hin zum industriell geprägten Partner von industriell organisierten Herstellerunternehmen ist auch eng damit verbunden, Optimierungspotentiale gemeinsam mit Mitarbeitern zu erschließen[17]. Dies knüpft an Erfahrungen an, die bereits erfolgreich in der Industrie gesammelt wurden[18]. Dabei wurden zu Beginn des Projektes die Voraussetzungen für ein Konzept verknüpfter Personal- und Organisationsentwicklung nicht unbedingt als erfolgversprechend beurteilt:

- weil die bisherigen Personalstrategien der Verwertungsunternehmen darauf ausgerichtet sind, möglichst unqualifiziertes, weil billiges, Personal, einzustellen
- weil keine Erfahrungen mit gezielter Personal- und Organisationsentwicklung vorliegen, die auch wiederum Geld kostet
- weil technikgetriebene Lösungen als Rationalisierungs- und Optimierungspotentiale stärker präferiert werden.

Im IREAK-Projekt wurde zum ersten Mal versucht, eine gezielte Verbindung zwischen Technik-, Unternehmens- und Personalentwicklung in Verwertungsunternehmen herzustellen.

Zu Projektbeginn bestand die Situation der Zerlegung bei Hetzel darin, dass

- bereits eine Ausrichtung auf massenhafte Verwertung vorhanden war
- ein Teil der Mitarbeiter die Tätigkeit als anspruchsvoll ansah und Freude an seiner Arbeit hatte, auch weil sie ökologische Zwecke verfolgen lässt
- Potenzial zur Optimierung und Verbesserung der Abläufe in der Zerlegung vorhanden war.
- Erste Erfahrungen mit Beteiligungsprozessen vorlagen.

Die Situationsbeschreibungen, die a&o research im Rahmen der Organisationsdiagnose den Mitarbeitern und Führungskräften von Hetzel zurückmeldete und mit ihnen diskutierte, waren der Auftakt für die Personal- und Organisationsentwicklungen im Bereich der Zerlegung.

Die mit den Mitarbeitern und Führungskräften erarbeiteten ersten Ansatzpunkte zur Optimierung der Zerlegung und der Verbesserung

[17] Mit Mitarbeitern sind in diesem Zusammenhang vor allem die Mitarbeitern in der gewerblichen Ebene gemeint, z.B. die Zerleger, Sortierer usw.

[18] Quaas et.al. (1996) Frei et.al. (1993)

der Bedingungen von Arbeit, bestanden zu Beginn des Projektes in folgenden Punkten:

- Schaffung einer klaren Führungsstruktur
- Bearbeitung von Vorschlägen der Mitarbeiter zur Verbesserung der Arbeits- und Umgebungsbedingungen
- Optimierung der Schnittstelle zur Wareneingang und Auftragseingangssteuerung

Nach der Umsetzung dieser Maßnahmen und der Sammlung positiver Erfahrungen mit der neuen Führungsstruktur wurde der Prozess der Förderung von Personal- und Organisationsentwicklung im Bereich der Demontage durch weitergehende Analysen der Arbeitssituation der Mitarbeiter fortgesetzt. Dabei wurden vergleichenderweise zwei verschiedene Instrumentarien genutzt:

- das Tätigkeitsbewertungssystem (TBS)
- die Subjektive Arbeitsanalyse (SAA)

Das TBS ist ein objektives Verfahren das von Hacker entwickelt wurde[19]. Die Ergebnisse sind Einschätzungen und Bewertungen von ausgebildeten Experten der Analyse.

Die SAA ist ein Verfahren, das die Mitarbeiter zu Experten ihrer eigenen Arbeitssituation “erklärt” und auf der Basis der subjektiven Sicht der Mitarbeiter auf ihre Arbeitssituation zu Ergebnissen führt (Udris & Alioth; 1980).[20]

Der Einsatz dieser beiden, in der arbeitspsychologischen Diskussion eher konkurrierenden Herangehensweisen, hat zu weiterführenden Ansatzpunkten der Entwicklung im Demontagebereich geführt. Dabei war interessant, dass beide Methoden die auf unterschiedliche Art und Weise anzusprechenden Akteursgruppen (einerseits das Management des Unternehmens, andererseits die gewerblichen Mitarbeiter) für die gleichen Richtungen der Veränderung sensibilisiert haben.

Das Management war eher bereit, über die Ergebnisse des TBS zu sprechen und daraus Schlussfolgerungen für die Gestaltung des Arbeitssystems der Mitarbeiter abzuleiten. Dies ergibt sich offensichtlich aus der Expertenorientiertheit dieser Methode. Die Ergebnisse der subjektiven Arbeitsanalyse wurden eher angezweifelt.

---

[19] Hacker et al. (1983, 1995)

[20] Zu den Analysemethoden, deren konzeptionellen Unterschieden und den detaillierten Ergebnissen der Analyse liegt eine Projektstudie bei der a&o research GmbH vor. (Greiner, 1998). Im folgenden soll nur auf grundsätzliche Erkenntnisse in Bezug auf die Anwendbarkeit und mögliche Ergebnisse dieser arbeitspsychologischen Methoden in Verwertungsunternehmen verwiesen werden.

Quelle: Greiner, Michael (1998): Konzeption und Durchführung von Arbeitsanalysen bei der Hetzel Elektronik-Recycling GmbH; unveröffentlichtes Projektmaterial

Die gewerblichen Mitarbeiter hingegen konnten in der Gruppendiskussion zur Auswertung ihrer eigenen Ergebnisse im Rahmen der subjektiven Arbeitsanalyse eine Vielzahl von Schlussfolgerungen für Veränderungen ableiten; die Ergebnisse des TBS waren für sie wiederum eher uninteressant.

Das Instrument “Subjektive Arbeitsanalyse” enthält die für Arbeitszufriedenheit im gewerblichen Bereich wichtigen Kategorien

1. ***Arbeitsschwierigkeit***
2. ***Qualifikation***
3. ***Zusammenhalt und Unterstützung der Kollegen***
4. ***Respektierung durch den Vorgesetzten***
5. ***Entscheidungsfreiheit in der Arbeit***
6. ***Weitere Verbesserungsvorschläge***

Diese zunächst eher an die individuellen Interessen der Mitarbeiter anknüpfenden Kategorien dienen der Diskussion und der Erarbeitung von Veränderungsvorschlägen, die letztlich sowohl den Mitarbeitern als auch dem Unternehmen nützen.

Die Schwerpunkte von notwendigen Verbesserungen und Optimierungen wurden in den Bereichen Arbeitsschwierigkeit und Qualifikation gesehen. Die Arbeitsschwierigkeit wird weniger durch die Kompliziertheit der Arbeit beeinflusst als vielmehr durch die Anforderungen an die Qualität der Arbeit bei gleichzeitiger Sicherung der notwendigen Stückzahlen. Die vorhandene Organisation der Arbeit und Ausstattung der Arbeitsplätze führten zu einer hohen physischen und psychischen Belastung der Mitarbeiter angesichts der Anforderungen an Qualität und Quantität der Demontage.

Zum Abbau dieser Belastungen könnten Qualifizierungsmaßnahmen beitragen, die tätigkeitsnah und organisationsorientiert sind. So wurde z.B. von den gewerblichen Mitarbeitern selbst vorgeschlagen:

- neuen Mitarbeitern genug Zeit für die Einweisung zu geben. Dabei sollten auch Arbeitsmethoden und Tricks weitergeben werden.
- Die Einweisung durch die Zerleger selbst vornehmen zu lassen.
- Das Wissen über Schadstoffe regelmäßig aufzufrischen (mind. 2mal im Jahr).
- Durch eine regelmäßigen Wechsel der zu zerlegenden Geräte neue Kenntnisse erwerben zu können.

Auch Veränderungen der Arbeitstische (Zugänglichkeit, Tiefe, Höhenverstellbarkeit), der Beleuchtung, der Trage- bzw. Hebevorrichtungen und der Temperaturregulierung können dazu beitragen, Belastungen und Arbeitsstress zu minimieren und die Produktivität der Arbeit zu erhöhen.

Im Verlaufe dieser Arbeit lernten die gewerblichen Mitarbeiter die Vorteile einer zielgerichteten Optimierungsarbeit im Team kennen. Entgegen der vor dem Projekt IREAK gesammelten Erfahrungen mit Verbesserungsworkshops (geringe Aktivität, wenig Vorschläge, viele Forderungen) war nunmehr eine Situation entstanden, in der die Mitarbeiter selbst vorschlugen, regelmäßige Workshops mit den Zerlegern durchzuführen, wobei jeweils ein Thema besprochen werden sollte. Die Workshops sollten alle zwei Monaten stattfinden. Sie erklärten das vor dem Hintergrund der erarbeiteten Erfahrung, dass es für manche Arbeitsplatzsituationen nicht einfach sei, Lösungen für Verbesserungen zu finden. “Deshalb muss kontinuierlich darüber nachgedacht werden, wie die Arbeit verbessert werden kann” (Auszug aus dem Protokoll des Workshops mit den Zerlegern bei Hetzel).

Die erfahrungsgeleitete Optimierung vorhandener Produktionsprozesse ist auch in Unternehmen realisierbar, die mit wenig qualifizierten und angelernten Mitarbeitern arbeiten. Auch sie sind die Experten ihres Systems, haben eigene, im vorliegenden Falle auch fachfremde Sichtweisen auf das System und beteiligen sich an Optimierungsprozessen, die auch ihren Interessen entsprechen. Diese Erfahrung wurde genutzt für die Realisierung des Projektauftrages, die Einführung neuer Technik unter Beteiligung der Experten des “alltäglichen Seins” zu untersuchen und Ansatzpunkte für eine optimierte Gestaltung von Technik, Organisation und Personal abzuleiten.

3.6.5 Analyse des Regulationsverhaltens der Mitarbeiter und der Optimierungsmöglichkeiten in einem veränderten Demontagesystem

Im Verlaufe des Projektes IREAK wurde bei Hetzel ein Demontagesystem erprobt, das den Anforderungen an industriellen Rückbau von Elektronik-Altgeräten in höherem Maße entsprechen sollte als das bisherige System. Es ging zunächst um die Beantwortung der Frage, ob ein verändertes Transportsystem zu einer Steigerung der Produktivität führt bzw. wie es aussehen müsse, damit eine Steigerung der Produktivität erreicht würde. Diese technische Veränderung zog Veränderungen der Organisation der Zerlegung nach sich. Dabei wurden unter anderem auch aus arbeitspsychologischer Sicht die Konsequenzen der neuen Anlage auf das Arbeits- und Regulationsverhalten der Mitarbeiter analysiert und Konsequenzen für die Gestaltung von Demontagesystemen aus dieser Sicht abgeleitet.

Dabei wurden folgende Dimensionen in ihren Wirkungen auf das Arbeitsverhalten der gewerblichen Mitarbeiter betrachtet:

- *Arbeitsteilung*
- *Handlungsspielraum*
- *Kontrolle über die eigene Leistung*

- *Kooperationsanforderungen*
- *Körperliche Belastung / Beanspruchung*
- *Subjektive Produktivität*
- *Design der Anlage*

1. Arbeitsteilung:

Die Arbeitsteilung war vertieft worden, indem die Zerleger eine Vielzahl von Vor- und Nachbereitungsarbeiten nicht mehr selbst realisieren mussten, sondern dies einem speziell eingesetzten ”Bestücker” überlassen wurde (Abbildung 3.6-4).

Herkömmliches Demontagesystem	Verändertes Demontagesystem
Aufgaben Zerleger: Antransport • Absprache mit Vorarbeiter über zu zerlegende Geräte • Organisation des Antransports der Geräte in Gitterboxen	**Aufgaben Bestücker:** Antransport • Antransport der Geräte • Monitore auf Förderband heben
  Zerlegung • Geräte aus Gitterbox auf den Arbeitstisch heben (Typ und Stückzahl notieren) • Geräte zerlegen • Verschiedene Materialien sortieren (in kleine Behälter und große Gitterboxen "werfen")	**Aufgaben Zerleger:** Zerlegung • Geräte vom Förderband auf den Arbeitstisch heben (Typ, Stückzahl notieren) • Geräte zerlegen • Verschiedene Materialien sortieren (in Fächer des Bandes oder in kleine Behälter "legen")
  Abtransport/Wiegen • Materialien mit Hubwagen abtransportieren • Fraktionen wiegen und notieren	**Aufgaben Bestücker** Abtransport/Wiegen • Abnehmen der Fraktionen aus dem Förderband in große Mulden • Abwiegen (z.T. zerlegerspezifisch) und notieren

Abbildung 3.6-4: Arbeitsteilung bei herkömmlichem und verändertem Demontagesystem

Die Arbeit war kleinteiliger geworden. Die Reflexion auf diese Veränderung war in Abhängigkeit von der Berufserfahrung und der Qualifizierung unterschiedlich. Die eher unerfahrenen Zerleger begrüßten es, dass sie nur zerlegen müssen und es keine "Nachfolgearbeit" gibt ("Ich mache meine Arbeit und Schluss", "ich muss mich nicht darum kümmern, ob die Gitterbox kommt"). Transport, Wiegen, Dokumentieren sehen sie als Zusatzarbeit an, die über ihre eigentliche Arbeitsaufgabe hinausgeht. Das Wegfallen dieser Arbeiten empfanden sie als

entlastend. Erfahrene Zerleger bedauerten die Beschränkung der Aufgaben ("mal ein paar Schritte tun, ein paar Zahlen im Kopf, tut gut"), und vermissten die Abwechslung.

Die eher unerfahrenen Arbeiter waren nun zufriedener mit der eingegrenzten definierte Aufgabe, weil sie sich von den "Nachfolgearbeiten" (Rechnen, Schreiben) überfordert gefühlt hatten. Mit steigender Qualifizierung und Erfahrung stieg jedoch das Bedürfnis nach Erweiterung der Arbeitsaufgabe, die eingeschränkte Tätigkeit führte (innerhalb von 2 Tagen !!) zu Langeweile und Monotonie.

Konsequenzen:

- Die Arbeitsorganisation im Demontagesystem muss auch in Abhängigkeit von der Erfahrung und Qualifizierung der eingesetzten Mitarbeiter gestaltet werden. Die Demontageanlage muss also so aufgebaut sein, dass sie den kaufenden Unternehmen diese Option bietet und sich an die Qualifikationsentwicklung der Mitarbeiter anpassen lässt. Das Demontagesystem sollte eine ”differentielle” Arbeitsgestaltung ermöglichen[21]. Diesem Grundgedanken entspricht der modulartige Aufbau des entwickelten Demontagesystems (vgl. die Kapitel 3.3 und 3.4)
- Die Gestaltung der Arbeitsteilung im Demontagesystem steht im Zusammenhang mit der Personalstrategie des Unternehmens. Eine Personalstrategie, die Qualifikationsentwicklung und Betriebsverbundenheit fördert, ermöglicht eine Arbeitsorganisation mit Aufgaben eher ganzheitlichen Zuschnitts, während eine Strategie, die die Einstellung unqualifizierter Mitarbeiter mit schnellem Personalwechsel einplant, eine eher kleinteilig organisierte Verwertung schaffen muss.

2. Handlungsspielraum

Der Handlungsspielraum ist eine Dimension der Arbeitstätigkeit, die großen Einfluss auf die Entwicklung der Mitarbeiter in ihrer Tätigkeit, auf ihre Arbeitszufriedenheit und damit auf eine optimale Gestaltung der Arbeitsabläufe besitzt. Im untersuchten Beispiel wurden die Handlungsspielräume der Mitarbeiter durch die veränderte Arbeitsteilung eingeschränkt.

Vor allem von den erfahrenen Zerlegern wurde die Einschränkung eigener Handlungsmöglichkeiten in der neuen Arbeitsorganisation als negativ bewertet und entsprechende subjektive Bewältigungsstrategien entwickelt.

[21] Ulich (1992)

Am bisherigen Arbeitsplatz standen in der alten Arbeitsorganisation mehrere Gitterboxen mit verschiedenen Monitoren, aus denen der Zerleger die Geräte aufnimmt. Der Zerleger hatte Spielräume bezüglich der Einteilung seiner Arbeit besessen. Er konnte Monitore vom gleichen Typ (große, kleine) auswählen oder sammeln und dann "serienmäßig" mit dem gleichen Werkzeug zerlegen. Er konnte auch entscheiden, wann er die schwierigen (auch schweren) und wann er die "leichten" Geräte bearbeitet und konnte so die körperliche Belastung in Bezug auf die Schwere der Geräte und die psychische Beanspruchung in Bezug auf Monotonie und Abwechslung selbst kontrollieren und optimieren.

Im neuen Arbeitssystem musste der Zerleger nunmehr das Gerät bearbeiten, das gerade ankommt ("Man ist gezwungen die Monitore kreuz und quer zu nehmen."). Das hatte einen häufigen Wechsel des Werkzeuges zur Folge. Diesen Verlust an Produktivität versuchten einige Zerleger auszugleichen, indem sie bestimmte Monitortypen vom Band herunter an ihrem Arbeitsplatz sammelten. Die hatte jedoch eine höhere körperliche Belastung zur Folge.

Eine aus der Sicht der Zerleger logische Konsequenz in dem neuen Arbeitssystem bestand darin, dass sie in erster Linie "gute" Geräte, die einfach zu zerlegen sind oder geringes Gewicht haben, vom Band herunternahmen; "schwere" Geräte (hohes Gewicht, viele Schrauben, ...) hingegen lange auf dem eingerichteten Band verblieben. Auf diese Art und Weise erweiterten die Zerleger ihre Einflussmöglichkeiten wieder, aber in dem Bewusstsein, das System ”auszutricksen”. Der im alten System legitime Anspruch der Mitarbeiter, eigene Kontrollmöglichkeiten zu besitzen, musste nun ”geheim”, d.h. hinter dem Rücken der Akteure, realisiert werden. Wenn ein solches System über längere Zeit in Funktion ist, hat es Maßnahmen zur Folge wie z.B. Kontrolle durch den Vorgesetzten, Sanktionen usw.

Konsequenzen:

- Die Einschränkung von Handlungsspielräumen bei Einführung neuer Technik hat zur Folge, dass die Mitarbeiter versuchen, dies durch eine veränderte Organisation ihrer Arbeit auszugleichen.
- Größere Handlungsspielräume im Rahmen der Arbeitsaufgaben ermöglichen es den Zerlegern, eigene Rationalisierungsstrategien und differenzierte Strategien zur Reduzierung der Belastungen zu entwickeln. Diese Rationalisierungspotenziale bleiben bei eingeschränkten Handlungsspielräumen eher ungenutzt.

3. Kontrolle über die eigene Leistung

Die Kontrolle der eigenen Leistung durch die Zerleger selbst wurde im Modellversuch schwieriger als in der herkömmlichen Arbeitsorganisa-

tion. In der herkömmlichen Arbeitsorganisation kannten die Zerleger das Gewicht ihrer Fraktionen. Damit war ihnen täglich bewusst, was sie geschaffen haben: ein bestimmtes Gewicht an Materialien, die in den Stoffkreislauf wieder eingingen. Sie besaßen damit nicht nur ein direktes Feedback zu ihrer Leistung sondern auch einen Bezug zum Produkt, das in ihrem Falle das gewonnene Material ist. Im Probelauf der modernisierten Anlage konnten die Zerleger sich nur noch an der Stückzahl als Maßstab für ihre Arbeitsleistung orientieren; das Gewicht der gewonnenen Materialfraktionen war ihnen nicht mehr bekannt.

Die Einschränkung der Kontrollmöglichkeiten über die eigene Leistung führte subjektiv zu einer Reduzierung von Verantwortung des Einzelnen. Dies empfanden einige Mitarbeiter als Entlastung, einige Mitarbeiter fühlten sich jedoch einer wichtigen Regulationsmöglichkeit beraubt.

Auch für den Leiter der Zerlegung wurde es schwieriger, die Kontrolle über die erbrachte Leistung zu erhalten. Es fehlten nunmehr Aussagen zu den Arten der zerlegten Geräte, die mit der Stückzahl den entscheidenden Ansatzpunkt für Produktivitätsberechnungen lieferten.

Konsequenz:

- Die Kontrolle über die eigene Leistung sollte in neuen Demontagesystemen bei den Zerlegern verbleiben. Denkbar sind jedoch im Vergleich zum Wiegen weniger aufwendige Formen, z.B. informationstechnisch unterstützte Möglichkeiten der Ermittlung von Mengen und Stückzahlen (siehe Kapitel 3.5).

4. Kooperationsanforderungen

Die Analyse der Kooperationsanforderungen führt zum Erkennen von Möglichkeiten und Grenzen für Arbeit in Gruppen, Belastungsminimierung durch Arbeitsplatzwechsel und gegenseitige Qualifizierung.

Die Kooperationsanforderungen verringerten sich mit der Einführung der veränderten Demontageanlage, da keine Absprachen mehr mit dem Leiter der Zerlegung über die zu bearbeitende Ware und mit dem Staplerfahrer über den Antransport getroffen werden mussten. Die Arbeit selbst wurde, wie auch im alten System in Einzelarbeit realisiert. Dies war insofern überraschend, als eine Verkettung der Arbeitsplätze durch das Transportsystem erfolgt war. Die Puffer zwischen der Arbeitsplätzen waren jedoch für die Aufrechterhaltung der Einzelarbeit ausreichend. Damit waren die Mitarbeiter zufrieden. Das kannten sie und stellte keine veränderten Anforderungen an ihr Arbeitsverhalten.

Konsequenz:

- Die Erhöhung von Kooperationsanforderungen in einem Demontagesystem wird nicht durch ein technisches System per se hergestellt. Es bedarf gezielter organisatorischer und sozialer Einflussnahme, um qualifizierungsförderliche und belastungsminimierende Maßnahmen auch in Organisationslösungen, z.B. gruppenorientierten Arbeitsformen, umzusetzen.

5. Körperliche Belastung / Beanspruchung

Die Entwicklung der körperlichen Belastung / Beanspruchung wurde in Abhängigkeit von der Körpergröße der Mitarbeiter unterschiedlich beurteilt. Als besonders negativ wirkte sich die veränderte Arbeitsteilung zwischen Zerlegern und dem Bestücker in Richtung einer einseitigen und monotonen Dauerbelastung des Bestückers aus.

Das Kriterium der körperlichen Belastung / Beanspruchung wurde von den Mitarbeitern in den Interviews sehr ausführlich besprochen und die meisten Vorschläge für eine Veränderung unterbreitet.

Konsequenz:

- Ein Demontagesystem industriellen Maßstabs sollte Möglichkeiten der Optimierung von körperlichen Belastungen / Beanspruchungen durch die Mitarbeiter selbst enthalten. Auf diesem Gebiet sind sie auch aus eigener Sicht von Beginn eines Beteiligungsprozesses an die Experten.

6. Produktivität

Die subjektive Einschätzung der erreichten Produktivität durch die Mitarbeiter gab einen wichtigen Einblick in die Potenziale des neuen Systems. So konnten die Mitarbeiter deutlich Zeitgewinne und Zeitverluste in der neuen Arbeitsorganisation benennen (Abbildung 3.6-5).

Zeitgewinn	Zeitverlust
20-30 Minuten längere Zerlegezeit für den einzelnen Zerleger, da der Abtransport und das Wiegen ausfällt	höherer Zeitaufwand beim Zerlegen und Sortieren: Geräteteile in eine Gitterbox zu werfen geht schneller als in ein Fach des Förderbandes zu legen
Das Herbeischaffen der Geräte durch den Staplerfahrer, das manchmal die Arbeit verzögert, entfällt	Abends kommt es zu Engpässen beim Abwiegen durch den Bestücker, weil alle Zerleger gleichzeitig ihre Kisten für die Kleinfraktionen ins Förderband stellen
	Jedes Gerät muss einzeln gezählt und notiert werden
	Warten auf "geeigneten" (kleinen) Monitor
	kein serienmäßiges Zerlegen möglich, dauernder Wechsel der Werkzeuge
	Der Bestücker nimmt sowohl die Geräte zum Bestücken als auch die Fraktionen zum Wiegen und Abtransportieren noch einmal in die Hand, es entstehen 2 Arbeitsschritte mehr

Abbildung 3.6-5: Zeitverluste und Zeitgewinne durch neue Demontageanlage

Schlussfolgerungen:

Die Gestaltung und Optimierung des Demontagesystems mit den Mitarbeitern hilft Rationalisierungspotenziale bzw. Produktivitätsreserven zu erschließen, die häufig ”von außen” nicht erkennbar sind. Die Beteiligung der Mitarbeiter an diesen Prozessen führt zu zwei Effekten:

- Sie decken Potentiale zur Produktivitätserhöhung auf
- die Mitarbeiter werden zu Gestaltern des eigenen Arbeitssystems, was ihre Motivation zur Arbeit fördert, ihre Qualifikationsentwicklung beschleunigt und die Entwicklung der sozialen Beziehungen begünstigt.

7. Design der Anlage/Arbeitsplatzgestaltung

Zum Design der Anlage und zur Gestaltung der Arbeitsplätze wurden ebenfalls eine Vielzahl von Problemen benannt und Vorschläge unterbreitet. Auch bei diesem Kriterium der Arbeitsgestaltung sind schnell und mit großen motivatorischen Wirkungen Beteiligungserfolge erzielbar und Optimierungspotentiale zu erschließen.

Insgesamt stellten wir fest, dass es offensichtlich einen Zusammenhang zwischen der Art der Arbeitsorganisation, der Zufriedenheit der

Mitarbeiter und ihrer Berufserfahrung resp. Qualifikation für die Tätigkeit gibt. Je höher Qualifikation und Berufserfahrung desto größer können und müssen die Möglichkeiten der Selbstregulation von Arbeit und Leistung sein.

Konsequenz:

Die im IREAK-Projekt entwickelten Module für Demontagesysteme sollten in Abhängigkeit von der Personalstrategie des Verwertungsunternehmens mit unterschiedlichen Modellen der Arbeitsorganisation verknüpft werden.

- Szenario1:
  In Unternehmen mit eher unqualifiziertem und wechselndem Personal sollten die ausgewählten Module mit einer Arbeitsorganisation verbunden werden, die geringe Handlungsspielräume ermöglicht, hoher Arbeitsteilung beinhaltet, vielen Vorgaben enthält, usw.
- Szenario2:
  In Unternehmen mit eher qualifiziertem und dauerhaftem Personal sollten die Module mit einer Arbeitsorganisation verbunden werden, die Handlungs- und Kontrollmöglichkeiten beinhaltet, Gruppenarbeit ermöglicht, einen geringen Eingriff des Vorgesetzten erfordert und Selbstregulation der Mitarbeiter fördert.
- Szenario3:
  In Unternehmen mit unterschiedlich qualifiziertem Personal sollte eine differentielle Gestaltung der Arbeitsaufgaben entsprechend des jeweils erreichten Entwicklungsstandes der Mitarbeiter ermöglicht werden.

Die Einführung neuer Technik in Demontagesystemen unterliegt auch den Logiken der jeweils betroffenen Mitarbeiter. Sie frühzeitig in den Planungs- und Implementierungsprozess einzubeziehen entspricht den Erkenntnissen einer Vielzahl von Forschungsprojekten in Deutschland, wurde aber anhand dieser Untersuchung wieder bestätigt.

3.6.6 Instrumentarien für Personal- und Organisationsentwicklung im industriellen Verwertungsunternehmen

Die Ergebnisse des IREAK-Projektes, die in den bisherigen Abschnitten zur Personal- und Organisationsentwicklung beschrieben wurden, waren ein Schritt bei der Entwicklung des Instrumentariums zur Gestaltung von Personal- und Organisationsentwicklung in Verwertungsunternehmen. Es wurde eine Vielzahl von Modulen entwickelt, die das Management und die Mitarbeiter des Unternehmens dazu führen, ihre eigene Arbeitssituation zu reflektieren und daraus Schlussfolgerungen für eigenes Handeln und das Handeln anderer Mitarbeiter abzuleiten.

Hierzu gehören:

- Organisationsdiagnose im Verwertungsunternehmen
- Strategieentwicklung im Verwertungsunternehmen
- Initiierung von Veränderungs- und Innovationsprozessen im Verwertungsunternehmen und Umsetzung
- Tätigkeitsnahe Qualifizierung von Führungskräften und Angestellten im Verwertungsunternehmen
- Analysemethoden, die Handlungserfordernisse sowohl für das Management als auch für Mitarbeiter des Verwertungsunternehmens im Demontagebereich sichtbar machen.

3.6.7 Merkmale industrieller Verwertungsunternehmen

Insgesamt ergeben sich aus den Analyse- und Gestaltungsprozessen in den Verwertungsunternehmen die folgenden Charakteristika für deren Personal- und Organisationsentwicklung (Abbildung 3.6-6):

- Die Transparenz von Unternehmenszielen ermöglicht zielgerichtetes Handeln von Führungskräften und Mitarbeitern, erhöht die Motivation der Mitarbeiter und ihre Identifikation mit dem Unternehmen.
- Systempartnerschaften mit am Kreislauf Beteiligten dienen der Optimierung und der Flexibilisierung von Vereinnahmung und Verwertung.
- Strategische statt operative Führung durch Geschäftsführung schafft Raum für die Unternehmensentwicklung.
- Die Führungskräfte in den Geschäftsbereichen müssen selbständig und zielgerichtet handeln, um rasch auf Veränderungen im kreislaufwirtschaftlichen Gefüge reagieren zu können, bzw. dies selbst zu gestalten.
- Die Informations- und Kommunikationsflüsse zwischen Geschäftsführung, Führungskräften und Mitarbeitern im Unternehmen müssen systematisch gestaltet und optimiert werden. Informationssysteme (wie das DFD-Tool von DELTA) können dies unterstützen.
- Die Flexibilität in der Zerlegung wird durch Förderung selbstorganisierender Strukturen, wie z.B. gruppenähnlicher Arbeitsformen, erhöht.
- Die Beteiligung der Mitarbeiter an der Optimierung der Zerlege- und Verwertungsprozesse führt zum erhöhten Einsatz der Potentiale der Mitarbeiter und ihrer Weiterentwicklung.

Abbildung 3.6-6: Merkmale eines industriellen Verwertungsunternehmens

3.6.8 Literatur:

Dehnbostel, P. (1997): Neue Unternehmens- und Arbeitskonzepte - Wandel der betrieblichen Arbeitswelt ohne Umweltbildung? in: Zeitschrift für berufliche Umweltbildung 2/97. S. 5

Baritsch, I.-E. et al (1997): Umweltbildung für den betrieblichen Alltag. BIBB (Hg.) In Umweltschutz in der beruflichen Bildung Heft 51. S. 5

König, R. (1997): Ökobranche S.57

Staab, K.; Widdecke, H.: Komplexität denken lernen. In: Beyer, A.; Wass von Czege, A. (Hrsg.) Fähig für die Zukunft. Schlüsselqualifikationen für eine nachhaltige Entwicklung

Rationalisierungs-Kuratorium der deutschen Wirtschaft (RKW) e.V. (1998)[1]: Projektmanagement Fachmann. Band 1, S. 270

Rationalisierungs-Kuratorium der deutschen Wirtschaft (RKW) e.V. (1998)[2]: Projektmanagement Fachmann. Band 1, S. 271

Frei, F., Hugentobler, M., Alioth, A., Duell, W., Ruch, L. (1993): Die kompetente Organisation. Zürich.

Quaas, W.; Denisow, K.; Stahn, G. (1996): Unternehmen gemeinsam gestalten. Frankfurt.

3.6.9 Anhang: Interviewleitfaden Personal- und Organisationsentwicklung (Firma Hetzel)

I. Unternehmensentwicklung

1. Einstiegsfrage: Bitte erzählen Sie uns, welche Aufgabe Sie im Unternehmen erfüllen?

2. Was produziert Hetzel?

3. Können Sie uns aus Ihrer Sicht beschreiben, wie sich das Unternehmen seit seiner Gründung entwickelt hat.

4. Was hat sich für Sie persönlich dabei verändert?

II. Technik

5. Bitte beschreiben Sie uns ausführlich Ihre Tätigkeit und welche Technik bzw. Werkzeuge Sie dabei benutzen. (Planen, Ausführen, Entscheiden, Kontrollieren)

6. Hat sich bezüglich der Werkzeuge bzw. des Technikeinsatzes etwas geändert?

7. Entspricht die Ausstattung mit Technik und Werkzeugen dem aktuellen Stand?

III. Organisation

7. Von wem bekommen Sie Ihre Aufgaben?

8. Was passiert mit dem Ergebnis Ihrer Arbeit? (Wissen die Leute, was weiter mit ihren Produkten/Arbeitsergebnissen passiert, wenn sie ihren Arbeitsplatz verlassen?)

9. Wer beurteilt das Ergebnis Ihrer Arbeit?

10. Unter welchen Bedingungen können Sie erfolgreiche Arbeit leisten?

11. Mit wem arbeiten Sie im Unternehmen zusammen?

IV. Mensch/Personal

12. Über welche Qualifikation verfügen Sie?

13. Können Sie Ihre Ausbildung in Ihrer Tätigkeit nutzen?

14. Wären Sie an einer (weiter) Qualifikation interessiert? Würde das Ihre Arbeit erleichtern?

15. Gefällt Ihnen Ihre Tätigkeit? Macht es Ihnen Spaß, bei Hetzel zu arbeiten? Wenn ja, warum, wenn nein, warum nicht?

16. Können Sie Einfluss nehmen auf Veränderungen Ihrer Arbeit (z. b. Lohnsystem, Gestaltung der Arbeitsplätze, Arbeitsbedingungen, Arbeitszeiten, Arbeitseinsatz …)? Wünschen Sie sich mehr Einfluss?

17. Was bedeutet für Sie Qualität in Ihrer Arbeit? Können Sie so qualitätsgerecht arbeiten, wie Sie es möchten?

18. Leisten Sie mit Ihrer Arbeit einen Beitrag zur Entlastung der Umwelt?

19. Wie sind die Beziehungen zu Ihren Kollegen?

20. Wie sind die Beziehungen zu Ihren Vorgesetzten und zur Geschäftsleitung?

V. Unternehmenskultur

21. Was gefällt Ihnen an Hetzel? Was gefällt Ihnen hier nicht?

3.7 Öko-Controlling im modernen Verwertungsunternehmen

Schlussbericht Lehrstuhl Neuwertwirtschaft der BTU Cottbus (Unterauftragnehmer von Hetzel im Rahmen des Teilvorhabens 2)

3.7.1 Einführung

Seit zehn Jahren wird die Elektronikschrott-Verordnung in der bundesdeutschen Gesetzgebung diskutiert, ohne das es bis heute (November 1999) zu einer Verabschiedung gekommen wäre.

Bisher fand eine Verwertung von Elektronik-Altgeräten hauptsächlich dann statt, wenn hohe Gehalte an Wertstoffen vorlagen, der Anteil an Edelmetallen und anderen wertvollen Materialien hat sich jedoch in den letzten Jahren ständig verringert. Gegenwärtig erfolgt überwiegend eine manuelle Zerlegung oder eine Zerkleinerung mittels Shreddertechnologie. Bei diesen Vorgehensweisen konzentrieren sich die Verwerter vor allem auf die Rückgewinnung der Metalle.

Aus dieser Situation heraus startete im September 1996 das Projekt IREAK. Eine Querschnittsaufgabe in diesem Forschungsprojekt war die Entwicklung eines Öko-Controlling-Systems unter Anwendung von Material-Intensitäts-Analysen (MAIA)[22], das auf die Bedürfnisse und die praktischen Anforderungen kleiner und mittelständischer Unternehmen abgestimmt ist[23]. Hierbei kam es vor allem darauf an, eine Entscheidungsgrundlage zu bilden, bei welchen Verfahrensweisen Demontage- und Verwertungsprozesse ökonomisch sowie ökologisch vorteilhaft sind.[24]

Der Lehrstuhl Neuwertwirtschaft der Universität Cottbus unter Leitung von Prof. Ertel übernahm im BMBF-Projekt IREAK die Bearbeitung von Forschungsthemen, mit den Auftraggebern Grundig AG/Abteilung Ökotechnologie sowie Hetzel Elektronik-Recycling GmbH wurden dazu Aufgabenstellungen mit dem Schwerpunkthema Öko-Controlling vertraglich vereinbart. An der Erarbeitung der Forschungsergebnisse, welche an dieser Stelle im Überblick dargestellt werden, waren Prof. Jürgen Ertel, Thomas Merten, Bert Dörre[25] und Klaus Hunger beteiligt.

---

[22] vgl. MERTEN , LIEDTKE, Schmidt-Bleek: Materialintensitätsanalysen ... , 1995

[23] ERTEL: Forschungs- und Entwicklungsbedarf, Neuwertwirtschaft ... , 1996

[24] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG; 1996) sinngemäß: Die Verwertung ist der Beseitigung vorzuziehen, wenn sie technisch möglich , ökologisch sinnvoll und ökonomisch zumutbar ist.

[25] Fortsetzung der Projektarbeit von T. Merten, einem ehemaligen Mitarbeiter des Wuppertaler Instituts für Klima - Umwelt - Energie, welcher bis April 1998 am Lehr-

3.7.2 Öko-Controlling für Verwertungsunternehmen

Der Begriff Öko-Controlling basiert auf verschiedenen Ansätzen seit Mitte der 80er Jahre, z.B. ökologische Buchhaltung, Stoff- und Energiebilanzen, Umweltbilanzen, Produktlinienanalysen oder Stoffstromrechnungen. In der Literatur gibt es eine Reihe ähnlich lautender, allgemeiner Definitionen, wobei jedoch die verwendeten Begriffe je nach Autor beliebig interpretiert werden.

Ein ÖC-System ist generell als ein kontinuierlich im Kreislauf befindlicher Prozess zu verstehen, welcher in Abbildung[26] 3.7-1 vereinfacht dargestellt ist.

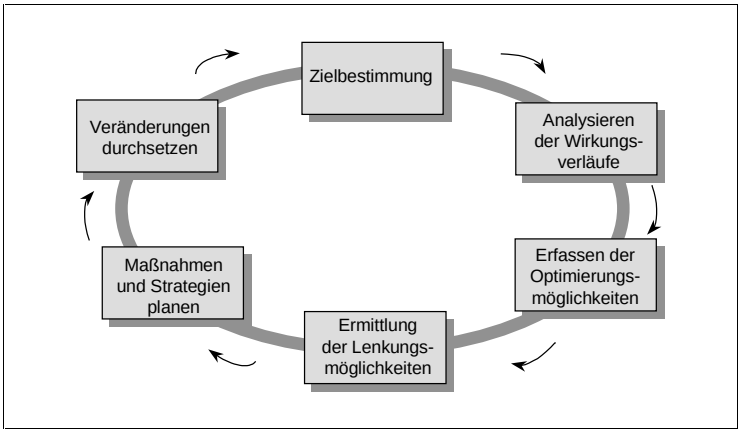


Abbildung 3.7-1: Öko-Controlling Kreislauf

Einen konkreten Ansatz liefert Möller, hier wird als Grundlage bzw. Basis für ein ÖC das Aufstellen von Sachbilanzen genannt (Möller, S. 9 ff). Konkret für den im Mittelpunkt des IREAK-Projektes stehenden Verwertungsbetrieb bedeutet dies die Erstellung bzw. die Berechnung von Sachbilanzen. Die Bewertung (nach ökologischen Prämissen) dieser Sachbilanzen ermöglicht dann das Aufstellen einer „Rangfolge“ für die untersuchten Objekte, welches Voraussetzung für die Zielbestimmung eines ÖC ist. Für das innerhalb des IREAK bei Hetzel zu entwickelnde ÖC-System wurde festgelegt, die Methodik der vergleichenden Material-Intensitäts-Analysen (MAIA) anzuwenden bzw. die Einfachheit der Anwendung zu überprüfen.

Bei dieser Methode werden die innerhalb der Demontageanlage und in den nachfolgenden Verwertungsprozessen entstehenden Stoffströme analysiert und bilanziert. Diese werden auf den letztendlichen Output (kg sekundären Rohstoffs) normiert und mit den MI-Werten von

---

stuhl tätig war und sich mit der Ausarbeitung der Grundlagen des Öko-Controlling-Systems befaßt hat.

[26] BMU, UBA: Handbuch Umwelt-Controlling, S. 33

primären Rohstoffen verglichen. Eine Bilanzierungs- und damit Öko-Controlling-Methode auf Basis von lebenszyklusweiten Stoffstromanalysen[27] erschien als die am besten geeignete Methode, um ökologische Sachverhalte[28] innerhalb eines Verwertungsbetriebes angemessen abbilden und bewerten zu können. Zunächst wurde die Anwendbarkeit der MAIA-Methode bzw. des MIPS-Konzeptes im Verwertungsunternehmen überprüft, die wissenschaftliche Fundierung des MIPS-Konzeptes erfolgte Anfang der 90er Jahre am Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt und Energie[29] (SCHMIDT-BLEEK, 1994). MIPS steht hierbei für Material-Intensität pro Serviceeinheit.

Im weiteren Projektverlauf konnte festgestellt werden, dass die Umsetzung der MIPS-Methode für die Bilanzierung der Recyclingprozesse nicht praktikabel war. Ausschlaggebend dafür waren folgende Punkte:

1.) Sehr hohe Anzahl unterschiedlicher Eingangsfraktionen bzw. Produkte

Im Verwertungsunternehmen gibt es mehrere Dutzend Eingangsfraktionen, ebenso viele unterschiedliche Ausgangsfraktionen. Diese Ausgangsfraktionen können wiederum auf verschiedene Art und Weise verwertet werden, der dafür notwendige Bilanzierungsaufwand[30] sprengt den Rahmen des Projektes IREAK bei weitem.

2.) Unzureichende Plausibilität/Dokumentation der MIPS-Werte

Dieses Problem trifft generell für Sachbilanz-Werte zu, Abhilfe sollte hier das standardisierte SPOLD-Format[31] schaffen. Dieses neue Datenformat soll in Zukunft die Transparenz der Daten durch Zusatzinformationen in den Modulbibliotheken ermöglichen. Bei den MI-Werten des Wuppertal-Instituts war es für Dritte nicht ohne Weiteres ersichtlich, unter welchen Bedingungen (Bilanzrahmen, Bilanztiefe) die Werte ermittelt wurden.

Als Ergebnis von MAIA am Wuppertal-Institut wurden bspw. für die Herstellung von Aluminium die MI-Werte[32] berechnet, welche jedoch erheblich von anderen Literaturwerten (vgl. Abbildung 3.7-2) abweichen, so dass letztendlich die Wuppertaler MI-Werte nicht als Vergleichswerte in Betracht gezogen wurden.

---

[27] SCHMIDT-BLEEK, F.: Das MIPS-Konzept, 1998

SCHMIDT-BLEEK, F.: Wieviel Umwelt braucht der Mensch?, 1994

[28] DIN EN ISO 14040, Beiblatt1, Pkt. 2.3, S.3, 1997

[29] Wuppertal-Institut: http://www.wupperinst.org/wi/projekte/mipsonline

[30] Für die komplette Bilanzierung eines TV-Gerätes wurde ein Arbeitsaufwand von 70 Mannjahren berechnet, Pfitzner, Darmstadt, 1998

[31] Einzelheiten zum SPOLD-Format unter: www.spold.org

[32] SCHMIDT-BLEEK, 1998, a.a.O.

	el. Energie/KEA	Quelle
	MJ/t	
Aluminium (primär)	58.688	Wuppert. Inst., 1998
Alu (primär, aus nat. Vorkommen)	184.964	Recycling v. Kupfer, 1978
Alu (primär, aus Bauxit, Elektrolyse)	220.000	Portella (Pawlek, 1982)
Alu (primär, aus Bauxit, Elektrolyse)	180.174	U3, 1998
Alu (primär, aus Bauxit, Elektrolyse)	253.000	IZT (U 1.5) 1998
Alu (sekundär), nur Umschmelzprozeß	2.160	Ollenschläger, Genf 1999
Alu (sekundär)	2.192	Wuppert. Inst., 1988
Alu (100% Legierungsschrott, Umschmelzen)	17.000	Portella (Pawlek, 1982)
Alu (100% Dosen-Schrott, Umschmelzen)	10.000	Portella (Pawlek, 1982)
Alu (sekundär)	7.200	Recycling v. Kupfer, 1978
Alu (sekundär), Großind. Incl. Aufbereitung	5.400	Ollenschläger, Genf 1999
Alu (70% primär; 30% sekundär)	41.739	Wuppert. Inst., 1998
Kupfer (primär, aus Erz, Elektrolyse)	98.000	Portella (Pawlek, 1982)
Cu (primär, aus nat. Vorkommen)	48.715	Recycling v. Kupfer, 1978
Cu (primär, abgeschätzt)	10.800	Wuppert. Inst., 1998
Cu (primär)	85.699	U3, 1998
Cu (primär, Reinkupfer, incl. AzV)	21.800	U3, 1998
Cu (sekundär, aus 1,6 t AzV)	20.550	U3, 1998
Cu (sekundär)	4.306	Wuppert. Inst., 1998
Cu (100% Legierungsschrott, Konv.+Elektrolyse)	49.000	Portella (Pawlek, 1982)
Cu (100% Cu-Schrott, Flammofen + Elektrolyse)	20.000	Portella (Pawlek, 1982)
Cu (Recycling)	6.217	Recycling v. Kupfer, 1978
Cu (60% primär, 40%sekundär)	93.400	IZT (U 1.5) 1998

Abbildung 3.7-2: Literaturwerte zum Energiebedarf von Metall-Herstellungsprozessen

Da aus o.g. Gründen das MIPS-Konzept nicht in vollem Umfang angewandt werden konnte, wurden im weiteren Projektverlauf vergleichende Bewertungen von Recyclingprozessen mit primären Herstellungsprozessen vorgenommen, eingeschränkt jedoch auf Energiebilanzen[33]. Hierzu wurden, bezogen auf eine Masseneinheit Rohstoff, die Aufwendungen für Demontage und Verwertung mit den Aufwendungen zur primären Herstellung des gleichen Rohstoffes verglichen.

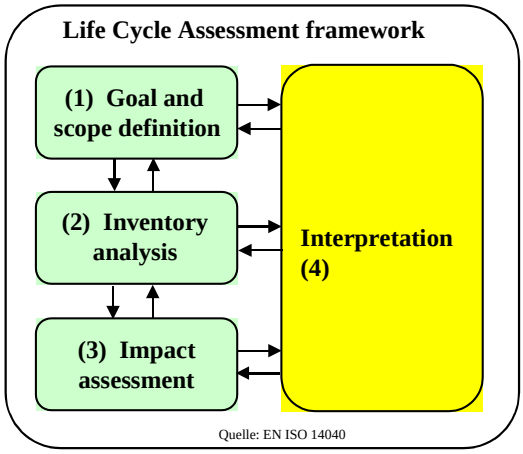
Konkret betrachtet wurden hierfür beim Elektronik-Altgeräte-Verwerter Hetzel als Untersuchungsobjekte die Haupt-Ausgangsfraktionen Aluminium-, Kupfer- und Kunststoffteile, Leiterplatten, Bildschirm- und Konusglas, ABS (Kunststoff), Kupfer- und Eisenschrott. Die aus der anschließenden Verwertung resultierenden MI-Werte der sekundären Rohstoffe (bzw. der sekundären Vorprodukte) wurden den MI-Werten der primären Rohstoffe (bzw. Vorprodukte) Aluminium, Kupfer, Kunststoffgranulat und Konusglas gegenübergestellt werden.

Die Tabelle in Abbildung 3.7-2 verdeutlicht, das es erhebliche Unterschiede in den Angaben der Zahlenwerte unterschiedlicher Quellen gibt. Dies liegt zum einen in der Art der technologischen Prozesse sowie im Bilanzrahmen begründet. Für die vergleichende Betrachtung wurden deshalb entsprechend Mittelwerte von plausibel erscheinenden Quellen herangezogen bzw. Werte, die der statistischen, durchschnittlichen Verfahrensweise in Deutschland entsprechen.

Eine genauere Vorgehensweise ist mit wesentlich mehr Aufwand verbunden, beispielsweise wird an der RWTH Aachen mit mehreren Wissenschaftlern seit einigen Jahren an der Erstellung einer präzisen Aluminium-Bilanz gearbeitet.

Zur Durchführung von Ökobilanzen sind weiterhin in den letzten Jahren einige Normen entstanden, teilweise befinden sich diese jedoch noch im Entwurfstadium. Einen Überblick zu den betreffenden Normen zeigt die Abbildung 3.7-3, nähere Erläuterungen können im Original in Deutsch oder Englisch nachgelesen werden. Diese Normen wurden bei der Durchführung der vorliegenden Energiebilanzen berücksichtigt.

[33] Im Weiteren wird mit MI also nur noch der Energieinput betrachtet.



EN ISO 14040 **Ökobilanz** - Prinzipien und allgemeine Anforderungen, 19 S., 1997

EN ISO 14041 **Ökobilanz** - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz, 30 S., 1998 **(1), (2)**

EN ISO 14042 **Ökobilanz** - Wirkungsabschätzung, 26 S., Entwurf, 1999 **(3)**

EN ISO 14043 **Ökobilanz** - Auswertung, 37 S., Entwurf, 1999 **(4)**

EN ISO 14048 **Ökobilanz** - Life cycle assessment data documentation format, 1999

EN ISO 14049 **Ökobilanz** - Examples for the application of ISO 14041, 1999

EN ISO 14050 **Environmental management** - Vocabulary, 1998

Abbildung 3.7-3: Ökobilanz-Normen; EN ISO 14040ff

3.7.2.1 Sachbilanz eines Zerlegearbeitsplatzes bei Hetzel

Für die Bilanzierung der Elektronik-Altgeräte-Verwertung sind als erstes die Demontageprozesse bei Hetzel zu betrachten. Zunächst stellte sich die Frage, wie der vorwiegend manuelle Anteil der Zerlegung bilanztechnisch berücksichtigt werden kann.

Hierfür sind entsprechende Anhaltspunkte zur Berechnung des Kumulierten Energieaufwandes in der VDI 4600 Richtlinie enthalten. Dementsprechend werden die Aufwendungen für Fertigungs- und Betriebsstoffe sowie Betriebsmittel berücksichtigt (Abbildung 3.7-4).

Bilanzelemente		
Fertigungsstoffe	Betriebsstoffe	Betriebsmittel
Rohstoffe	Betriebsenergie	Maschinen
Kreislaufmaterial	rückgeführte Energie	Transportmittel
Teile, Gruppen	Ersatzteile	Gebäude
	Schmierstoffe	Nichtproduktionstechnische Anlagen (F&E Bereich, Kantine, Verwaltung)

Abbildung 3.7-4: Kumulierter Energieaufwand (KEA) - VDI 4600[34]

[34] VDI 4600: Kumulierter Energieaufwand, 1997

Nicht Bestandteil der energetischen Bilanzierung sind:

- Menschliche Arbeit (z.B. Maschinenbeschickung von Hand),
- Metabolische Energie (z.B. Nährwert von Lebensmitteln),
- Umweltenergie (z.B. natürliche Beleuchtung oder Beheizung durch passive Solarenergienutzung).

Unter Berücksichtigung der bei Hetzel in Nürnberg gemessenen Energiewerte (Zählerstände Strom, Gas) in der Demontagehalle sowie unter Einbeziehung der Energieaufwandes für den „Transportaufwand" des Arbeiters von/zur Arbeitsstelle wurde der KEA pro Zerlegearbeitsplatz ermittelt (Abbildung 3.7-5). Auffällig ist, das die Heizung der Zerlegehalle mit 68,8% den größten Anteil am KEA eines Arbeitsplatzes verursacht.

	Energiebedarf pro Tag in [kWh] bzw. [%]	
Fahrt zur Arbeit, insg. 20 km, (PKW, 2 l Öl)	22	16,4%
Beleuchtung der Zerlegehalle	10	7,4%
Heizung der Zerlegehalle (Jahresmittel: 18.500 kWh /Monat) div. 20 Arbeitstage, div. 10 AK	92,5	68,8%
Arbeitsmittel (Druckluft, Werkzeug)	10	7,4%
Summe	134,5	100,0%

Abbildung 3.7-5: Kumulierter Energieaufwand (KEA) pro Zerlegearbeitsplatz

Daraus ergibt sich für die weitere Betrachtung der Demontageprozesse der KEA für einen Arbeitsplatz:

- 135 kWh/Arbeitstag (485 MJ/Arbeitstag) bzw.
- 17 kWh/h (60 MJ/h).

3.7.2.2 TV-/PC-Zerlegung bei Hetzel

Für die beispielhafte Bilanzierung der Demontageprozesse bei Hetzel wurde die Summe aller TV-Geräte sowie PC-Monitore betrachtet, die im Jahr 1997 zerlegt wurden (Abbildung 3.7-6). Da diese Geräte die gleichen Fraktionen enthalten, jedoch in unterschiedlichen Gewichtsanteilen, können diese in 24 Fraktionen zusammengefasst werden.

Für die weitere Berechnung des KEA der aus den einzelnen Fraktionen resultierenden Sekundärrohstoffe wurde weiterhin untersucht,

welcher Aufwand bzw. welche Zerlegezeit pro 1.000 kg Materialfraktion im Verwertungsunternehmen benötigt wird. Als Ergebnis wurden Demontagezeiten von 5,3 h/t (Holz) bis 14,3 h/t (Messing) berechnet (Abbildung 3.7-7). Diese Demontagezeiten fließen in die Berechnung des KEA-Anteils der Demontage ein, worauf im Weiteren noch näher eingegangen wird.

	TV	PC
Anzahl	8082 Stck	12681 Stck
Masse/Stck	28,06 kg	11,63 kg
Masse insg.	226,8 t	147,4 t
Masse insg.	374,26 t	
Demontagezeit/Stck	540 sec.	600 sec.
Demontagezeit 1997	1212 h	2113 h
Demontagezeit insg.	3325 h	
Mittlere Zerlegezeit	19,2 sec./kg	51,6 sec./kg
	5,4 h/t	14,3 h/t

Abbildung 3.7-6: Zerlegezeiten von TV-/PC-Geräten

Die Zerlegung von TV-Geräten geht mit 5,4 h/t wesentlich schneller vonstatten als die Zerlegung von PC-Monitoren mit einem Wert von 14,3 h/t.

Über alle Fraktionen gemittelt ergibt sich eine durchschnittliche Zerlegezeit von 8,9 h/t.

Die Demontagezeit von 3.325 h entspricht der Arbeitszeit von ca. zwei Arbeitskräften im Jahr 1997.

Fraktion	h pro 1 t
Messing	14,3
Zink	14,3
Aluminium	14,0
Kupfer	12,4
Relaisschrott	12,0
Eisen	11,7
Elkos	11,4
Kunststoff	11,3
Bildröhren, s/w	11,3
E.-Kanonen	10,0
Trafos/ E-Motoren	9,9
Papier	9,5
Kabel	9,1
Leiterplatten	8,7
Batterien	8,1
Bildröhren, farbig	6,2
E.-Röhren	5,3
Holz	5,3

Abbildung 3.7-7: Demontagezeit für einzelne Fraktionen aus der TV/PC-Monitor-Zerlegung

Die Werte der durchschnittlichen Zerlegezeiten pro Material-Fraktion multipliziert mit dem KEA pro Zerlegearbeitsplatz ergibt den Zerlegeaufwand bei Hetzel, welcher in die Berechnung der Gesamtbilanz der Sekundärrohstoffe einfließt.

3.7.2.3 Energiebedarf von Transportprozessen

Für die Bilanzierung von Transportprozessen sind umfangreiche Daten bzw. Transportparameter zu ermitteln, wie z.B. Fahrzeugtyp, Transportentfernung, Ladekapazität, Frachtmasse, Auslastungsgrad der Hin- und Rücktour, Fahranteile Innerorts, Landstraße und Autobahn. Diese Parameter haben entscheidenden Einfluss auf die mit dem Transport verbundenen Energieaufwand bzw. die dadurch resultierenden Umweltbelastungen.

In Abbildung 3.7-8 ist der Energiebedarf für eine Transportleistung von 100 tkm in Abhängigkeit vom LKW-Typ bzw. vom Transportmittel dargestellt. Wenn man z.B. den Energiebedarf eines LKW Typ 4-6 (bei voller Auslastung der Rücktour) mit dem Energiebedarf beim Bahn-Transport vergleicht, so verursacht der LKW den geringeren Ressourcenverbrauch. Ohne eine Fracht auf der Rücktour schneidet der Transport mittels LKW jedoch schlechter ab.

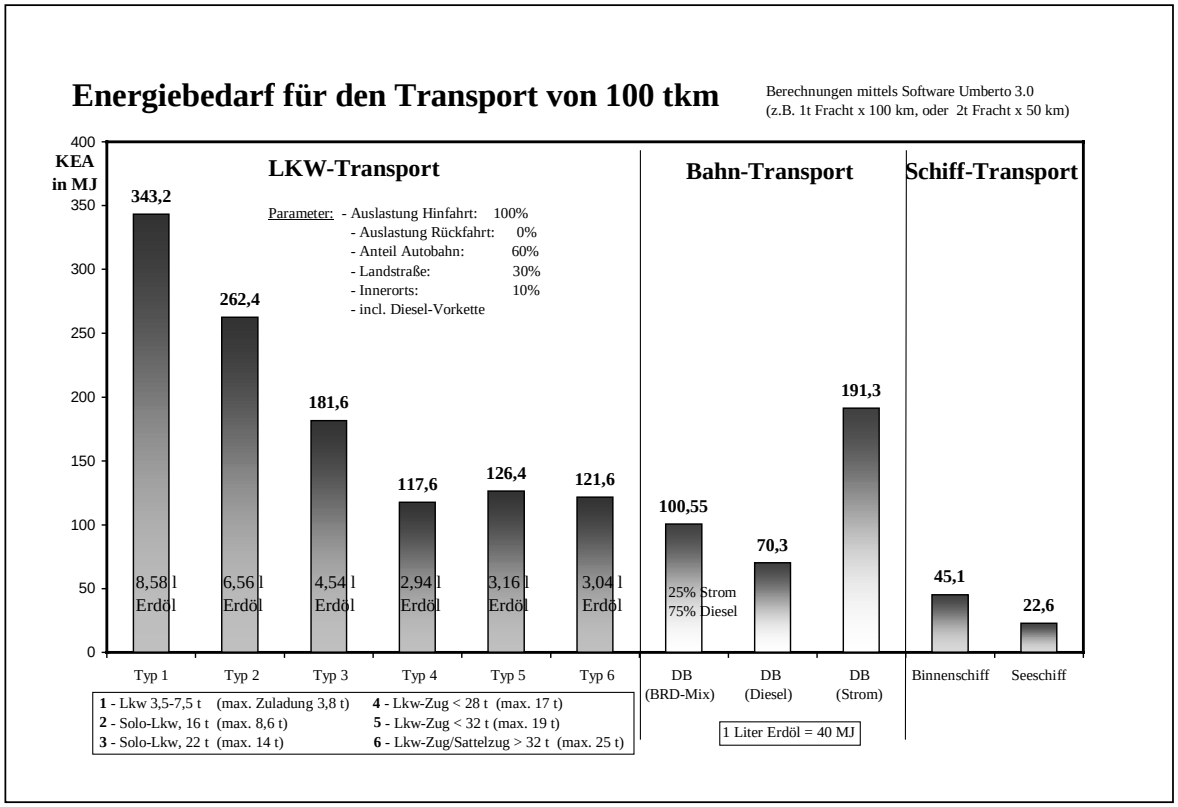


Abbildung 3.7-8: Energiebedarf für den Transport von 100 tkm

3.7.2.4 Sachbilanz der Fraktion Aluminium

Zum Thema Aluminium-Recycling wurde für die Berechnung der Sachbilanz auf diverse Quellen[35] zurückgegriffen sowie nach eigenen Vor-Ort-Datenaufnahmen folgende Berechnungen durchgeführt (Abbildung 3.7-9).

[35] Quellen für die Aluminium-Bilanz: ALUMINIUM – Taschenbuch, 1988; GDA: Aluminium, ein nachhaltiger Werkstoff; KONIAS, 1998; KRONE: Ökologische Aspekte ..., 1990; LEITERMANN: Energie-, Emissions- und Wirkbilanzen ... , 1996; LEITERMANN: Ganzheitliche Bilanz ... Audi A8; Österreichisches Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie: Reststoffe aus der Aluminium-Verhüttung; RINK: Aluminium als Karosseriewerkstoff, 1996; Software Umberto 3.0, 1999; VAW ALUMINIUM AG: Umwelt und Ökologie, 1997; OLLENSCHLÄGER, 1999; VDS: Sekundär-Aluminium, Qualität und Recycling, 1997; VDM: Metalle im Kreislauf, 1998

Als Energiebedarf für 1t Sekundäraluminium wurde der Wert von 17.748 MJ/t berechnet. Dieser Wert entspricht 10% des Energieaufwandes (KEA) der Herstellung von $Aluminium_{primär}$ (180.000 MJ/t).

Prozess	[MJ/t]	
Demontage Hetzel	1.109	6 %
Transport Nbg.-Italien (1500 km)	1.800	7 %
Aufbereitung	5.777	32 %
Schmelzwerk	10.169	56 %
Summe	17.748	100%
		10,1 %
Aluminium (100% Primär)	180.000	

Tabelle 3.7-9 Gesamtbilanz Aluminium-Recycling

In der Literatur wird i.d.R. ein Wert von 95% Energieeinsparung mittels Aluminium-Recycling genannt. Bei etwas genauerer Betrachtung (Einbeziehung der Demontage sowie von Transporten) lässt sich dieser Wert auf ca. 90% präzisieren. Die manuellen Demontageprozesse (14 h/t Aluminium-Fraktion x 1,342[36]) haben einen Anteil von 6%, die Transportprozesse einen Anteil von 7% an der Gesamt-Energiebilanz von 1 t $Aluminium_{sekundär}$. Den Hauptanteil verursacht erwartungsgemäß der Energieverbrauch im Schmelzwerk.

Einsparpotential ist in der Trennung der Aluminium-Fraktionen vorhanden, da durch sortenreine manuelle Demontage weniger Aufbereitungsprozesse notwendig wären, welche mit einem Anteil von 32 % in die Bilanz eingehen.

3.7.2.5 Verwertungsmöglichkeiten/Bilanz von Bildröhrenglas

Folgende Verwertungsmöglichkeiten wurden untersucht:

- Schirmglasproduktion,
- Konusglasproduktion,
- Flachglas- und Behälterglasindustrie,
- Glasfaser,

[36] Der Faktor 1,342 trägt den angewendeten Verfahren Rechnung, d.h. bei einem Input von 1.342 kg Aluminium-Schrott erhält man 1.000 kg $Aluminium_{sekundär}$.

- Keramische Produkte,
- NE-Metallhüttenindustrie,
- Verwertung im Straßenbau,
- Blähglasherstellung,
- Schleif- und Strahlmittel,
- Einsatz als Bergversatzmaterial.

Sachbilanz Bildröhrenglasrecycling

Als Energiebedarf für 1t Sekundärkonusglas ergibt sich unter Einbezug der Prozesse Demontage, Trennung (Herdwagenofen), Transport, Aufbereitung sowie Wiedereinschmelzen der Wert von 10.138 MJ/t. Dieser Wert entspricht 74% des Energieaufwandes (KEA) der Herstellung von Konusglas$_{primär}$ (13.800 MJ/t) (Abbildung 3.7-10).

Prozess	[MJ/t]	%
Demontage Hetzel (6,2 x 60 MJ)	372	4%
Herdwagenofen Hetzel (552 kWh/t)	1.987	20%
Transport (D-NL-D; 500 km)	600	6%
Aufbereitung (NL)	720	7%
Glasschmelze (100% Scherben)	6.458	64%
Summe	10.138	100%

KEA Bildschirmglas$_{primär}$	13.800	

Tabelle 3.7-10: Gesamtbilanz Bildschirmglasrecycling

Die manuellen Demontageprozesse haben einen Anteil von 4%, der Herdwagenofen von 20%, die Transport- und Aufbereitungsprozesse einen Anteil von 6% bzw. 7% an der Gesamt-Energiebilanz von 1 t Konusglas$_{sekundär}$. Den Hauptanteil verursacht erwartungsgemäß der Energieverbrauch im Schmelzwerk.

Dieser Wert des Einsparpotentiales muss sicherlich noch etwas verringert werden, da in der Praxis kaum 100% Konusglas aus Altscherben produziert wird, dieser Fall stellt sich lediglich beim Wiedereinschmelzen von Produktionsabfällen der Hersteller (z.B. Samsung) dar.

Zusammenfassung Glasverwertung

Jedes Jahr fallen etwa 70.000 bis 100.000 t Altbildschirmglas an. Die Tendenz ist aufgrund der wachsenden Verkaufszahlen steigend. Es gibt eine Reihe von technologisch unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren, die in Quantität und Qualität des ausgebrachten Materials differieren.

Die Verwertungsmöglichkeiten sind zahlreich, doch praktisch ist nur die Verwertung in Nichteisen-Metallurgie und Straßenbau in Deutschland bekannt, für Schirmgläser ist weiterhin die Verwertung als Bergversatz möglich. Für den Einsatz in der Nichteisen-Metallurgie ist zudem eine Trennung der Glassorten nicht unbedingt nötig und der Einsatz im Straßenbau wird nicht empfohlen.

Das größte Potential stellt die hochwertige Verwertung von Konusglasscherben zur Herstellung von neuem Konusglas dar, dies führt zur Einsparung von Primärrohstoffen bzw. Energieeinsparung beim Schmelzprozess. Die Anforderungen an die Qualität der Altscherben sind jedoch mittels Glascode sehr hoch gesetzt worden, beispielsweise die Mindestliefermenge von 100 t pro Charge. Dieser sowie weitere Aufbereitungsparameter führen zum Schluss, dass nur eine größere Anlage das Glas entsprechend aufbereiten kann, wie es derzeit bei Schott geplant ist.

Diese Anlage kann sich ein mittelständischer Elektronik-Altgeräte-Verwerter i.d.R. nicht leisten (Investmittel von mehreren Mio. DM). Ein weiteres Hemmnis ist, dass spätestens im Jahr 2007 Flachbildschirme die Monitore der Bildröhren-Technologie am Markt verdrängt haben werden; die ersten Flachbildschirme sind bereits auf dem Markt, die Monitorpreise für Bildröhrengeräte sind erheblich gefallen. Unter diesem Gesichtspunkt müsste sich die zu installierende Aufbereitungsanlage in wenigen Jahren amortisieren.

Solange die Deponierungskosten bei ca. 50 DM/t liegen, der Bergversatz (45DM/t) akzeptiert und das Glas in großen Maßstab ins Ausland (z.B. Italien) gebracht wird, ist kein Anreiz für die Veränderung der derzeit restriktiven stofflichen Verwertung des Bildröhrenglases gegeben.

3.7.2.6 Sachbilanz der Fraktion Kupfer

Bei der Demontage von Elektronik-Altgeräten fallen mehrere kupferhaltige Fraktionen an, die mit verschiedenen Verfahren bei unterschiedlichen Firmen aufbereitet und zu $Kupfer_{sekundär}$ recycelt werden. Unter Einbezug des Demontage- und Transportaufwandes ergibt sich die in Abbildung 3.7-11 dargestellte Gesamtbilanz.

Prozess	[MJ/t]	%
Demontage Hetzel (10 x 60 MJ *1,5)	900	4%
Transport 400 km	720	3%
Aufbereitung (Shredder etc.)	750	3%
Ofen/Konverter (Knudsen)	20.000	89%
Summe	22.370	100%
		26,1%
Kupfer (100% Primär)	85.700	

Abbildung 3.7-11: Gesamtbilanz Kupfer-Recycling

Die Summe von 22.370 MJ/t $Kupfer_{sekundär}$ (Fraktion Trafos/ Netzteile) entspricht 26,1% des Energieeinsatzes für $Kupfer_{primär}$, wobei die manuelle Demontage, der Transport sowie die Aufbereitung mittels Shredder in der Gesamtbilanz nur mit ca. 10% eingehen.

3.7.2.7 Demontage Radiorecorder rr315

Für die Verwertung von Elektronik-Altgeräten muss vor der Zerlegung der Demontagegrad bzw. die Demontagetiefe bestimmt werden. Dies kann durch eine Musterzerlegung sowie mittels Software erfolgen.

Ausschlaggebend ist eine ausreichend große Stückzahl an gleichartigen Geräten, da z.B. eine rechnerunterstützte Festlegung der optimalen Demontagetiefe mit erheblichem Aufwand verbunden ist.

Abbildung 3.7-12: Radiorecorder rr315

Da vom Radiorecorder Typ rr315 (Abbildung 3.7-12) eine ausreichende Stückzahl (> 100) zur Demontage vorhanden war, wurden folgende Zerlegestrategien bzw. Verwertungsalternativen untersucht:

- Komplette Demontage,
- Rechnerunterstützte, gewinnmaximierte Demontagestrategie (Software Demrop),
- Demontage aufgrund Erfahrungswerten des Zerlegers (Hetzel-Praxis),
- Entsorgung ohne Demontage (Deponie/Verbrennung: 0,30 DM/kg).

Die Hauptfraktionen des Radiorecorders rr315 wurden zuerst anhand einer Musterdemontage ermittelt, Abbildung 3.7-13 enthält eine zusammenfassende Übersicht.

Material	m in [g]
PS	706
Eisen, mit Anh.	532,5
Cu, mit Anh.	334,1
Platinen, GK4	199
ABS	99,0
SAN	77
Messing, mit Anh.	26
Rest	24,3

Abbildung 3.7-13: Fraktionen rr315

Als Ergebnis des Vergleiches kann festgehalten werden, dass eine komplette Demontage unwirtschaftlich ist, da sie Kosten von 6,45 DM verursacht. Bei der Zerlegung aufgrund Erfahrungswissen (Hetzel-Praxis) wird mit wenigen Zerlegeschritten (Demontagezeit 1`56``) eine Verwertung von 65% der Fraktionen ermöglicht, wodurch Kosten in Höhe von 1,55 DM entstehen (Abbildung 3.7-14).

Erlös/ Kosten in [DM/kg]	Fraktion	Komplette Demontage		Zerlegung bei Hetzel (Praxis)	
		m in [g]	Erlös in [Pf]	m in [g]	Erlös in [Pf]
	Gerät, komplett	1998		1998	
-0,30	PS, farbig	706	-21		
-0,30	Kunststoff, farbig	12	-0,4		
-0,30	SAN	77	-2	38	-1
1,00	ABS, farbig	99	10		
-0,30	PUR	1	-0,03		
0,04	Eisen, mit Anh.	533	2		
1,80	Cu, mit Anh.	225	41	225	41
1,60	Messing, mit Anh.	26	4	27	4
0,08	Platinen, GK 4	199	2	199	2
0,75	Kabel	109	8	91	7
0,04	rundpolymer (PS) + Eisen			750	3
-0,30	Rest, ohne Schadstoffe	12	-0,3	668	-20
	Zwischen-Summe, Fraktionen		42		35
	Demontagezeit in [s]	447		116	
	Demontagekosten in [Pf]		-671		-174
-0,08	Transportkosten in [DM/kg]	1998	-16	1998	-16
	Summe (Erlös bzw. Kosten) in [Pf]		-645		-155

Abbildung 3.7-14: Übersicht Zerlegestrategien bzw. Verwertungsalternative rr315

Für die in der Tabelle zusammengestellten Ergebnisse wurden folgende Annahmen getroffen:

- Demontagekosten (54 DM/h) = - 1,5 Pfennig/sec.
- Transportkosten (80 DM/t) = - 0,08 DM/kg

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es sich bei dem untersuchten Radiorecorder um ein typisches Elektronikprodukt handelt, welches noch nicht für eine Demontage optimal gestaltet wurde.

Dementsprechend entstehen bei der Verwertung Kosten, d.h. der Recyclingbetrieb muss sich für die Verwertung bezahlen lassen.

3.7.3 Zusammenfassung/Ausblick

Die Einführung eines Öko-Controlling in Verwertungsunternehmen ist aus o.g. Gründen sehr aufwendig und bedarf weiterhin der Mithilfe aller Beteiligten. Ein Öko-Controlling von Außen gibt es nicht.

Beim Verwertungsunternehmen Hetzel wurden die Grundlagen für ein Öko-Controlling geschaffen (Sachbilanzen, Verwertungsalternativen etc.), für die Umsetzung müssten weitergehende Schritte erfolgen. Allerdings stellt sich die Frage, ob der dafür notwendige Aufwand gerechtfertigt ist. In der Regel haben kleine Unternehmen nicht die Möglichkeit, derart kostenintensive Maßnahmen durchzuführen.

3.7.4 Literatur

AK13 (1998): Niedersächsisches Umweltministerium, Abschlußbericht des Arbeitskreises 13 „Elektronikschrott“ Hannover (1998) S. 6-13 - 6-32.

ALUMINIUM – Taschenbuch, 14. Auflage, ALUMINIUM ZENTRALE (HRSG.), Aluminium – Verlag, Düsseldorf 1988

ARPACI, E. und VENDURA, T.: Recycling von Kupferwerkstoffen. METALL, 47. Jahrgang, Heft 4, 1993, 340 - 345

BEHRENDT, S. et al. (1996): Umweltgerechte Produktgestalltung: ECO-Design in der elektronischen Industrie. Berlin et al. 1996.

BEHRENDT, S. et al. (1998): Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte: Innovation und Umweltentlastungspotentiale durch Lebenszyklusanalyse. Berlin et al. 1998.

BLEIS, C.: Öko-Controlling. Betriebswirtschaftl. Analyse zur systemischen Berücksichtigung von ökol. Aspekten durch Unternehmenscontrolling, 1995, Bern, Lang, P.

BMU, UBA (Hrsg.): Handbuch Öko-Controlling, 1995, München, Vahlen

BMU, UBA (Hrsg.): Handbuch Umweltkostenrechnung, 1996, München, Vahlen

DÖHRING, Dr. (1998): Bildröhrenglas im geschlossenen Kreislauf. In: NGS- Workshop. Bildröhrenrecycling- und wohin mit dem Glas? 1998.

DÖRRE, B., HUNGER, K., ERTEL, J.: Stoffstromcontrolling ..., Forum der Forschung, BTU, 1998

DÖRRE, B.: Bilanz ABS 100, Umberto-Workshop, Hamburg, Sept. 1998

DÖRRE, B.: Bilanzierung der Herstellung von ABS aus 100% Recyclingmaterial, Kolloquium zur Entwicklung umweltgerechter Produkte, SFB 392, Darmstadt, Nov. 1998

DÖRRE, B.: Ökobilanzierung beim Recycling von Kreislaufgütern, Europ. Konferenz “Kreislaufwirtschaft für KMU”, Erfurt, November 1999

ENTSORGA-MAGAZIN (1996): Neues Leben für die Mattscheibe, Entsorga-Magazin (1996)5 S. 124.

EPA: Office of Compliance Sector Notebook Project - Profiles of the Nonferrous Metals Industry, 1995, 19 - 29

EPA: Source Category Survey – Secondary Copper Smelting and Refining Industry, 1980, 24 - 35

ERTEL, J.: Forschungs- und Entwicklungsbedarf, Neuwertwirtschaft – Eine Perspektive für Wirtschaft und Ökologie, Hrsg.: EICHMEYER, H., 1996, Taunusstein, Blottner

ERTEL, J.: Industrieelektronik, in Recycling-Handbuch: Strategien – Technologie – Produkte, Hrsg.: NICKEL, W., 1996, VDI-Verlag, Düsseldorf, S.464 ff

FISCHER, H. et al: Umweltkostenmanagement, 1997, München, Hanser

FRAUENHOFER Institut für Produktionstechnik und Automatisierung : Endbericht: Entwicklung von Handlungshilfen für Kommunen zur Elektro- und Elektronik- Altgeräteentsorgung. Stuttgart 1998.

GDA, GESAMTVERBAND DER DEUTSCHEN ALUMINIUMINDUSTRIE E.V. (HRSG.): Aluminium, ein nachhaltiger Werkstoff, Düsseldorf

GREULICH, N./ HEUNLICH, T.: Elution von Bildröhrenglas zu Charakterisierung seines Deponieverhaltens. In: Glass Science and Technology Band 69 (1996)8 S. N77 - N88.

HAASIS, H.D. et al (Hrsg.): Betriebliche Umweltökonomie

HABERMANN, R. und LETMATHE, R.: Recycling von Kupfer, Heere, 1994

HAHN, D., LAßMANN, G.: Produktionswirtschaft, Controlling industrieller Produktion, 1993, Heidelberg, Physica

HALLAY, H., PFRIEM, R.: Öko-Controlling, 1992, Frankfurt/Main, Campus

HAMANN, B./ HÜLSENBERG, D./ LEUTBERGER T.: Glassware, manufactured on the base of cullets, containing heavy metal oxid. In Glastechnische Berichte 68C2 (1995) S.183ff.

HORVÁTH, P.: Controlling im Mittelstand, 1990, München, Vahlen

JANZEN, H.: Ökologisches Controlling im Dienste von Umwelt- und Risikomanagement, 1996, Stuttgart, Schäffer-Poeschel

KALUZA, B.: Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement, 1998, Hamburg, S+W Verlag

KIESGEN, G.: Entwicklung von ökol. u. ökon. effizienten Recycling- und Demontagestrategien für komplexe technische Gebrauchsgüter, 1996, Bochum, Universitätsverlag Brockmeyer

KIRSCHTEN, U.: Einführung eines Öko-Controlling, 1998, Dt. Universitätsverlag, Wiesbaden

KOELLNER, W. /FICHTLER, W.: Recycling von Elektro- Elektronikschrott: Einführung in die Wiederverwertung für Industrie, Handel und Gebietskörperschaften. Berlin et al. 1996.

KONIAS, pers. Mitteilung, Fa. Kerscher, Nürnberg, Sept. 1998

KOTTMEYER, J.: Bildröhrenaufbereitung bei der Ecotronic GmbH. In: NGS- Workshop. Bildröhrenrecycling- und wohin mit dem Glas? 1998.

KRONE, K. ET AL.: Ökologische Aspekte der Primär- und Sekundäraluminiumerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland, Metall, Heft 6 1990, S. 559–567

KRÜGER, J. et al.: Ökologische Aspekte der Primär- und Sekundäraluminiumerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland. METALL, 44. Jahrgang, Heft 6, 1990

KRÜGER, J. et al.: Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung, Sonderdruck des DKI aus METALL Hefte 4, 5 und 6 1995, Düsseldorf, 1998

LAGNER, B. E.: Recycling von Kupfer. in [9], 68 - 77

LAGNER, B. E.: Technologie der Kupferherstellung – Verhüttung und Raffination. in [9], 46 - 58

LANGE, J (1993): Rohstoffe der Glasindustrie. Leipzig, Stuttgart 1993.

LEITERMANN, W., SCHÄPER, S.: Energie-, Emissions- und Wirkbilanzen einer Karosserie in aluminiumintensiver und in konventioneller Bauweise sowie Optimierung einer Space – Frame – Karosserie mittels ganzheitlicher Bilanzierung, Vortrag zur 16. VDI / VW – Gesamttagung vom 27.–29.11. 1996; Wolfsburg

LEITERMANN, W.; SCHÄPER, S.: Ganzheitliche Bilanz sowie Recycling von PKW in aluminiumintensiver Bauweise am Beispiel des Audi A8

MERTEN T., LIEDTKE, C., Schmidt-Bleek, F.: Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und Baustoffen, Wuppertal, 1995

METALLGESELLSCHAFT AG: Die Welt der Metalle – Kupfer, Frankfurt, 1993

MIERZWA, M. und DRZEVITZKY, B.: Kabelrecycling: Rückgewinnung von Kupfer und Kunststoff in Primärqualität. Umwelt, Band 27, Nr. 4, 1997, 48 - 51

MÖLLER, A. et al: Öko-Controlling in Handelunternehmen, 1997, Berlin, Springer

NEUMANN-SZYSZKA, J.: Kostenrechnung und umweltorientiertes Controlling, 1994, Wiesbaden, Dt. Univ. Verlag, Gabler Verlag

OLLENSCHLÄGER, pers. Mitteilung, Genf, Febr. 1999

ÖSTERREICHISCHES BUNDESMINISTERIUM für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.): Reststoffe aus der Aluminium-Verhüttung, UBA-94-096

PUDER, F.: Beurteilung der Verwertungsmöglichkeiten für Behälterglas, Flachglas, Bildschirmglas und Leuchtstofflampen. Umweltbundesamt Berlin 1998.

REICHMANN, T. (Hrsg.): DV-gestütztes Unternehmenscontrolling, 1993, München, Vahlen

RINK, CARSTEN: Dissertation zum Thema: Aluminium als Karosseriewerkstoff, Recycling und energetische Betrachtung, Hannover 1996

SCHALTEGGER, S.: Ökologieorientierte Entscheidungen im Unternehmen, ökologisches Rechnungswesen statt Ökobilanzierung, 1994, Schriftenreihe des Inst. für Betriebswirtschaft, Wirtschaftswissenschaftliches Zentrum der Uni Basel, Bd. 27

SCHIMMELPFENG, L., MACHNER, D. (Hrsg.): Öko-Audit und Öko-Controlling gemäß ISO 14.000 ff und EG-Verordnung Nr. 1836-93, 1996, Taunusstein, Blottner, E.

SCHLÖGL, M.: Recycling von Elektro- und Elektronikschrott. Würzburg 1995.

SCHMIDT-BLEEK, F.: Das MIPS-Konzept: weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10, München, Droemer Knaur, 1998

SCHMIDT-BLEEK, F.: Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - das Maß für ökologisches Wirtschaften, 1994

SCHNIDTMANN, R. /GLAZEL, H. G.: Technologie von Bildröhren. Konferenz- Einzelbericht: 1. Chemnitzer Konstrukteurstage (1993)10 S. 1-14.

SCHRAMM, E. et al: Stoffflüsse ausgewählter umweltrelevanter chemischer Stoffe, Produktliniencontrolling, 1996, Berlin, UBA

SCHULZ, E., SCHULZ, W.: Umweltcontrolling in der Praxis, 1993, München, Vahlen

SELIGER, G./ HENTSCHEL, C. (1996): Fuzzy Clusterbildung von Altprodukten zur Planung und Steuerung von Demontagesystemen. In: Industrie Management 12(1998)2 S. 42 - 46.

SOFTWARE UMBERTO 3.0; IFU-Inst. Hamburg, IFEU-Inst. Heidelberg, 1999

STAHLMANN, V.: Umweltverantwortliche Unternehmensführung. Aufbau und Nutzen eines Öko-Controlling, 1994, München, Beck Verlag

STOLTENBERG, U.: Betriebliches Ökocontrolling, 1996, Wiesbaden, Gabler

TILTMANN, K. O. und SCHÜREN, A.: Recyclingpraxis Elektronik, Köln, 1994, 233 - 238

TÜH: Verfahrensvergleich von Bildröhrenbehandlungsanlagen. Studie der Technischen Überwachung Hessen GmbH 1995.

VAW ALUMINIUM AG (HRSG.): Umwelt und Ökologie, Bonn 1997

VDI 2578: Emissionsminderung Glashütten: (Entwurf) November 1997

VDI 4600 (verbindliche deutsche VDI-Richtlinie): Kumulierter Energieaufwand, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Blatt 1, 1998

VDS – VEREIN DEUTSCHER SCHMELZHÜTTEN E.V. (HRSG.): Sekundär-Aluminium, Qualität und Recycling, Düsseldorf 1997

VEREIN DEUTSCHER METALLHÄNDLER E.V. (HRSG.): Metalle im Kreislauf – Unverzichtbare Rohstoffquelle, Bonn 1998

WITT, M.: Umweltschutz-Controlling. Konzeptionelle Grundlagen eines betriebl. US-Controlling, 1995, Universität Bremen, FB 7

ZVEI (1996): Wiederverwendung von Bildröhrenglas. Frankfurt am Main 1996

ZWINGEL, TH.: Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Kennzahlen und Kennzahlensystemen im Rahmen eines ökologischen Controllingkonzepts, Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1996

4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse - Visionen für die Kreislaufwirtschaft

Der vorliegende Schlussbericht gibt einen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse des Teilvorhabens 2 innerhalb des Verbundprojekts IREAK. Insgesamt ist es gelungen, entscheidende Instrumente für die Realisierung einer umfassenden Kreislaufwirtschaft für elektrische und elektronische Geräte zu erarbeiten. Die tatsächliche Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse auf breiter Basis setzt allerdings Veränderungen im Umgang mit Produkten in allen Lebensphasen voraus, von der Entwicklung und Herstellung über die Nutzung bis hin zur Verwertung. Daher soll in diesem abschließenden Kapitel eine nach unserer Einschätzung realistische und realisierbare Vision einer zukünftigen Kreislaufwirtschaft aufgezeigt werden.

Leitgedanke jedes zukunftsfähigen Wirtschaftens muss die Nachhaltigkeit sein. Die Vielzahl an Entsorgungswegen für Altprodukte lässt sich unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit in folgende drei Gruppen zusammenfassen: Deponierung / Verbrennung, Materialrecycling (stoffliche Verwertung) und Produktrecycling (erneute Produktverwendung). Die mit den jeweiligen Wegen erreichbare Nachhaltigkeit steigt in dieser Reihe von links nach rechts an (Abbildung 4-1).

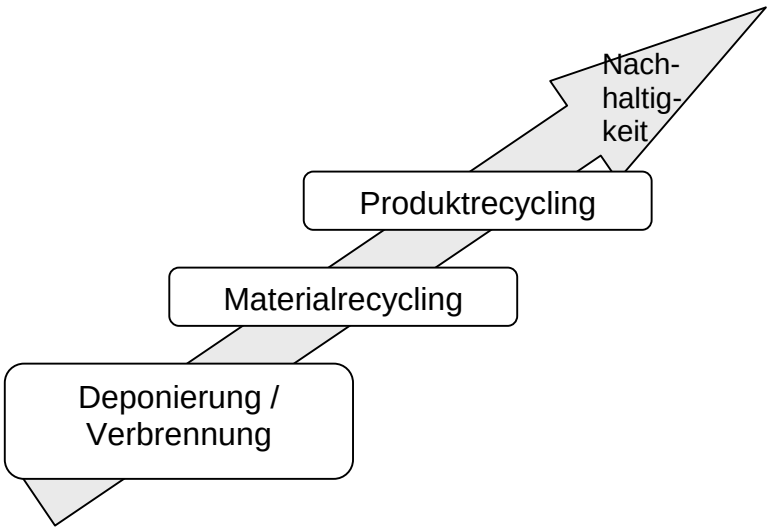


Abbildung 4-1: Entsorgungswege unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit

Für jeden dieser Entsorgungswege gibt es zahlreiche Lösungsvarianten. Unter dem Aspekt einer hochwertigen Kreislaufwirtschaft können zwei grundlegende Ansätze voneinander unterschieden werden:

Entsorgung durch eine überwiegend offene Logistikkette

Hier kommen die Produkte direkt vom Letztnutzer, über einen Sammler oder über den Hersteller zum Entsorger. Dort erfolgt die weitere Behandlung und Weiterleitung der gewonnenen Materialien ohne Rückkopplung zum ursprünglichen Hersteller.

Geschlossene Logistikkette durch Systempartnerschaft Hersteller – Verwerter

Hier werden die Entsorgungswege von vorne herein zwischen Hersteller und Verwerter geplant und aufeinander abgestimmt. Dadurch wird direkter Rückfluss von Produkten oder Materialien vom Verwerter zum Hersteller möglich. Derartige Systempartnerschaften stellen derzeit noch die Ausnahme dar, sie bilden allerdings das entscheidende Fundament eines nachhaltigen Wirtschaftssystems.

Betrachten wir nun die oben genannten, drei grundlegenden Verwertungswege unter dem Aspekt der offenen und geschlossenen Logistikkette, so kann für jeden Weg - ausgehend von der aktuellen Situation - die Zukunftsvision im Rahmen einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft entwickelt werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 4-2 als Matrix dargestellt, die einzelnen Matrixfelder werden im folgenden näher erläutert.

	offene Logistikkette, *aktueller Situation*	geschlossene Logistikkette durch Systempartnerschaft Hersteller - Verwerter, *Zukunftsvision*
Deponierung/ Verbrennung	*Feld 1* Deponierung/ Verbrennung kompletter Geräte	*Feld 2* Deponierung/ Verbrennung von Schadstoffen
Materialrecycling	*Feld 3* Materialrückgewinnung ohne direkten Bezug zum ursprünglichen Hersteller	*Feld 4* Gezielte Werkstoffaufbereitung für den Wiedereinsatz beim Hersteller
Produktrecycling	*Feld 5* Second-Hand-Markt	*Feld 6* Ersatzteilgewinnung für den Produktservice der Hersteller

Abbildung 4-2: Aktuelle Situation und Vision einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft

Deponierung/Verbrennung

Große Mengen elektrischer und elektronischer Altgeräte wandern im Rahmen der offenen Logistikkette nach wie vor auf Hausmülldeponien oder werden verbrannt (Feld 1). Bei Realisierung einer umfassende Systempartnerschaft dagegen sollte dieser Aspekt keine Rolle mehr spielen. Lediglich Schadstoffe, für die keine Verwertungsmöglichkeit besteht, die sich aber im Rahmen der Produktherstellung nicht vermeiden lassen, sollten in hierfür geeigneten Deponien eingelagert oder durch Verbrennung unschädlich gemacht werden (Feld 2). Insgesamt ist die Deponierung und Verbrennung in unserer Vision einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft nur noch von untergeordneter Bedeutung.

Materialrecycling

Feld 3 beschreibt die heute zumeist praktizierte, „klassische“ Verwertung, das Materialrecycling. Die eigentliche Funktion der verschiedenen Produkte wird nicht mehr betrachtet, im Mittelpunkt der Arbeit steht vielmehr ihre stoffliche Zusammensetzung. Die einzelnen Werkstoffe werden möglichst sortenrein zurückgewonnen und – ohne direkten Bezug zum ursprünglichen Hersteller – als Sekundärrohstoffe erneut in den Wirtschaftskreislauf eingebracht. Dies führt zu guten Ergebnissen im Bereich der Metalle. Kunststoffen dagegen wandern zumeist in die Verbrennung, in einigen Fällen ist ein Downcycling, d.h. eine erneute Verwendung als minderwertigerer Werkstoff, möglich.

Im Rahmen der Realisierung direkter Systempartnerschaften zwischen Herstellern und Verwerter werden sich eng geschlossene Materialkreisläufen ergeben. Derartig geplante Logistikketten werden zu einer hochwertigen, werkstofflichen Verwertung führen. Insbesondere im Bereich der Kunststoffe, die mit etwa 25% zur Gesamtmasse der Elektronikaltgeräte beitragen, ergibt sich hier ein weitreichendes und – die Ergebnisse des Projekts IREAK zeigen dies deutlich – erfolgversprechendes Betätigungsfeld. Aber auch zahlreiche weitere Aspekte, wie die IREAK- Erkenntnisse in Bezug auf die Produktgestaltung und den Aufbau moderner, industrieller Verwertungsbetriebe, werden hier zu vielfältigen positiven Entwicklungen beitragen. In unserer Vision einer zukünftigen Kreislaufwirtschaft kommt dem Verwerter somit nicht nur die Rolle eines Entsorgers zu, vielmehr wird er zum direkten Zulieferer der Hersteller, der klar definierte und qualitätsgesicherte Materialien – gewonnen aus Altprodukten - zur Verfügung stellt.

Produktrecycling

Die spannendsten und umfassendsten Entwicklungen können sich im Bereich des Produktrecyclings ergeben. Hier liegt auch das mit Abstand größte Potential zur Verbesserung der Nachhaltigkeit. Der in

Feld 5 genannte „Second-Hand-Markt“ beschreibt die aktuelle Situation in diesem Bereich. Ohne direkte Logistikkette zum Hersteller bleibt nur die herkömmliche Gebrauchtschiene für die Vermarktung von funktionsfähigen Altgeräten, Komponenten und Bausteinen. Dies wird zumeist vom Letztnutzer selbst, von den Recyclingbetrieben oder von spezialisierten Anbietern praktiziert. Im Bezug auf die Gesamtmasse des anfallenden Elektronikschrotts spielen diese Aspekte bisher allerdings eine untergeordnete Rolle.

In Feld 6 wird eine auf breiter Basis durchaus vorstellbare und in Teilbereichen bereits vorexerzierte Entwicklungsrichtung aufgezeigt: die systematische, qualitätsgesicherte Ersatzteilgewinnung aus Altprodukten für den Produktservice der Hersteller. Hierfür ist eine enge, umfassende und vertrauensvolle Systempartnerschaft zwischen Hersteller und Verwerter erforderlich. Der Schlüssel zum Erfolg liegt hier in der Informationsbereitstellung. Der Verwerter muss wissen, welche Teile in welchen Stückzahlen der Hersteller benötigt, wo in den Geräten diese Teile zu finden sind, wie er sie zerstörungsfrei ausbauen kann und wie eine geeignete Funktionsprüfung durchgeführt werden kann. Umgekehrt benötigt der Hersteller Angaben beispielsweise über aktuelle Anfallmengen sowie über Zustand und Zusammensetzung „seiner“ Altprodukte. Als Plattform für diesen Informationsaustausch wurde in IREAK das Softwaretool IBIS geschaffen. Als weitere Grundlagen wurden Regelwerke für die an diese Prozesse angepasste Produktgestaltung und Konzepte für die Ausgestaltung hierfür geeigneter Verwertungsbetriebe geschaffen.

In der Realisierung unserer Vision auf Grundlage einer umfassenden Systempartnerschaft Hersteller - Verwerter liegt die Zukunftschance für die Demontage von Elektronikaltgeräten in Deutschland und für die damit verbundenen Arbeitsplätze. Ein rein auf die Gewinnung von Stoffen für das herkömmliche Materialrecycling ausgelegter Zerlegebetrieb wird auf Dauer nicht gegenüber Schredderbetrieben bestehen können. Hochwertiges Material- und Produktrecycling kann dagegen nur mit Hilfe qualifizierter Demontagebetriebe realisiert werden.

Zum Schluss bleibt die Frage, warum sich unsere Vision angesichts des beschriebenen Potentials nicht „von selbst“ in die Tat umsetzt. Das Problem liegt in zumeist noch fehlenden Rahmenbedingungen und in zahlreichen Hemmnissen. Beispielsweise sind die Anfallströme im Elektro- und Elektronikschrottbereich derzeit noch unorganisiert und machen eine systematische Planung weitestgehend unmöglich. Bei der Konstruktion der heute anfallenden Altprodukte wurden in der Regel noch keine recyclinggerechten Designregeln berücksichtigt, ein Hochwertrecycling scheidet daher allein deshalb häufig von vorne herein aus. Auch die Art der Sammlung, der Lagerung und des Transports entspricht zumeist nicht den Erfordernissen eines Produktrecyclings.

Darüber hinaus fehlt eine umfassende Klärung von Garantie- und Produkthaftungsfragen für die erneute Verwendung von Altprodukte sowie die Schaffung klarer Regeln für die erforderliche Kennzeichnung gebrauchter Verkaufsprodukte. Außerdem scheint der Markt generell noch nicht bereit, qualitäts- und funktionsgeprüfte gebrauchte Komponenten als selbstverständlich und gleichwertige zu akzeptieren.

Diese Betrachtungen zeigen, dass der Weg zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft im Bereich der Elektro- und Elektronikaltgeräte derzeit kein „Selbstläufer“ ist. Dennoch ist er sowohl aus ökologischen, insbesondere aber auch aus volkswirtschaftlichen und globalen Gründen langfristig aufgrund der Verknappung der natürlichen Ressourcen unumgänglich.

Um die dargestellten Chancen nicht zu verspielen, ist daher eine „politische“ Steuerung dieses Weges durch Förderung geeigneter Modellprojekte erforderlich. Nur durch den vorzeigbaren, praktisch Erfolg kann ein Umdenken in Wirtschaft und Gesellschaft und damit das Ziel der Etablierung eines nachhaltigen Wirtschaftssystems erreicht werden.